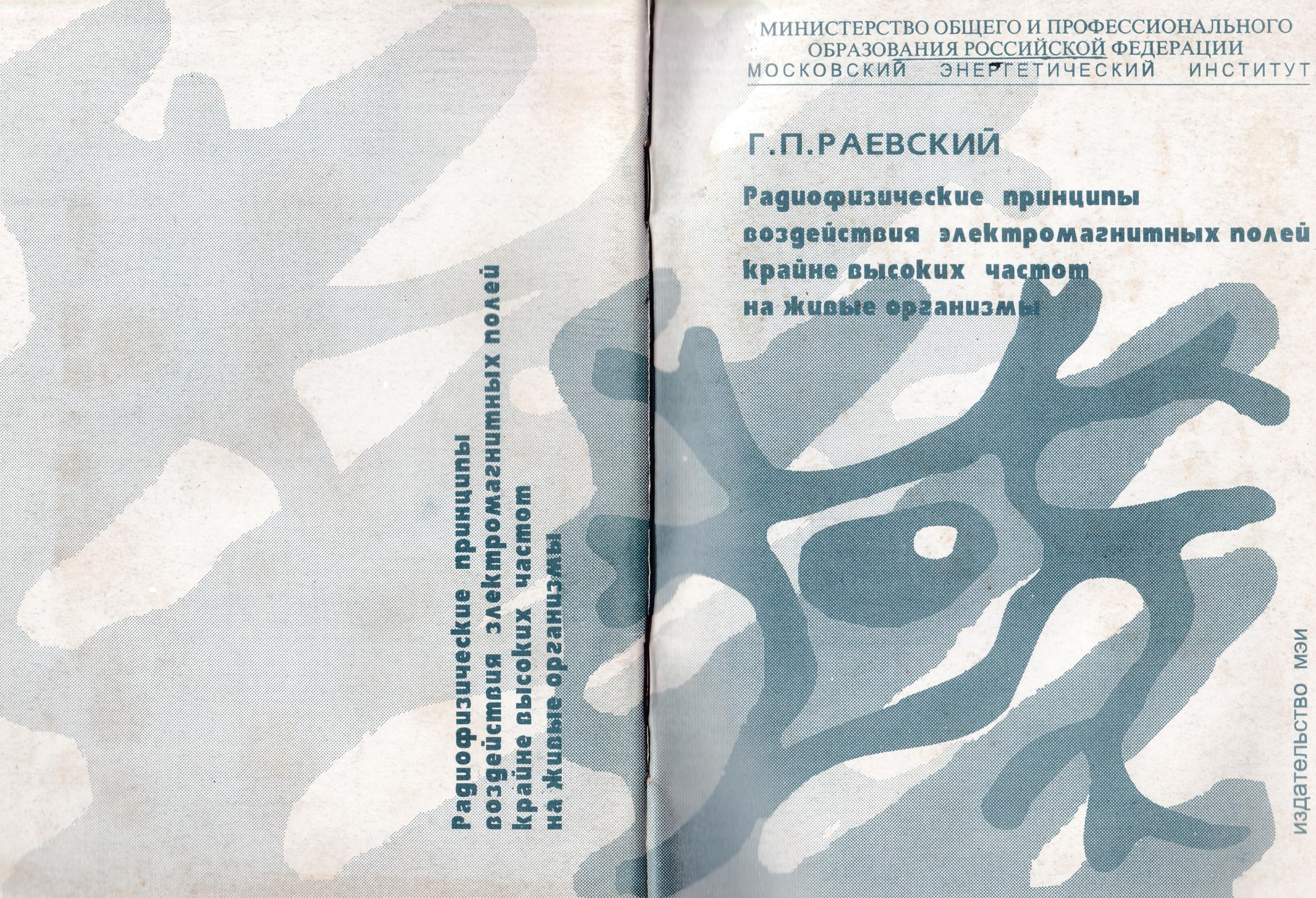


МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Г.П. РАЕВСКИЙ

Радиофизические принципы воздействия электромагнитных полей крайне высоких частот на живые организмы

Радиофизические принципы
воздействия электромагнитных полей
крайне высоких частот
на живые организмы

издательство МЭИ

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Г.П.РАЕВСКИЙ

Радиофизические принципы воздействия электромагнитных полей крайне высоких частот на живые организмы

МОСКВА ИЗДАТЕЛЬСТВО МЭИ 1997

621.396
Р 163
УДК 621.396.1.029.5:57(075.8)

Утверждено учебным управлением МЭИ в качестве учебного пособия для студентов

Р Е Ц Е Н З Е Н Т Ы

Докт.техн.наук, профессор М.Б.Голант
Канд.техн.наук доцент А.К.Макаров
Подготовлено на кафедре конструирования и производства радиоаппаратуры

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ. Г.П.Раевский/ Под редакцией В.Ф.Взятышева. -М.:Изд-во МЭИ, 1996. - 79 с.

Новое направление в медицине - лечение путем воздействия низкоинтенсивным электромагнитным излучением миллиметрового диапазона волн. Явления в живом организме под действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения, а также трактовка понятий "заболевание, "старение", "адаптация организма к влияниям извне" дается с позиций радиофизики.

Модельное представление механизма управления защитными функциями организма проводится на основе материала фундаментальных курсов теории колебаний, электродинамики, техники СВЧ.

Рассмотрены примеры использования модели при разработке терапевтической и диагностической аппаратуры и медицинских методик.

Предназначено для студентов старших курсов радиотехнических специальностей.

ISBN 5-7046-0119-5

ISBN 5-7046-0119-5

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее пособие представляет собой сжатое изложение основной части лекционного курса "Микроволны в медицине", в 1993-1995 гг. читавшегося автором для студентов радиофакультета в рамках специализации "Медицинская и бытовая радиотехника". Курс знакомит с новой интересной областью применения радиоэлектроники - для лечения и профилактики чрезвычайно широкого круга заболеваний (от вирусных до онкологических) с помощью соответствующим образом сформированного электромагнитного излучения сверхвысоких частот и оптического диапазонов. В пособии представлена только часть проблемы, связанная с воздействием на живые организмы весьма низкоинтенсивного излучения крайневысоких частот (КВЧ), соответствующего диапазону миллиметровых волн.

Впервые о терапевтических возможностях такого воздействия заговорили в первой половине 60-х годов. С тех пор благодаря результатам интенсивной работы в этом направлении биологов, врачей, зоологов и, конечно, радиофизиков, являющихся первооткрывателями этого направления и ставших координаторами исследований, появилась возможность составить представление о проблеме в целом.

Сама идея постановки этой части курса связана с возможностью познакомить слушателей с условиями и методами деятельности на стыке двух весьма далеких научных направлений, проследить генезис научной и инженерной мысли: от экспериментов по исследованию нового явления в области живого до разработки на его основе оригинальных технических устройств и применения их в качестве главных инструментов оригинальной методики лечения.

Представленный в пособии материал охватывает все основные этапы этого процесса: постановку задачи и методологию исследования живого организма, выбор оптимального для получения количественной информации биопараметра; предпосылки и методы формирования наглядной модели механизма воздействия электромагнитного излучения на биообъект; вопросы применения его в биологической и медицинской практике, принципы проектирования технических устройств для лечебного воздействия и диагностики заболеваний.

Заметим, что очевидная сложность самого объекта исследования - живого организма, - допускает большое число подходов к толкованию процессов в нем. Рассматриваемая ниже радиофизическая модель электромагнитного воздействия - одна из по меньшей мере четырех существующих. Авторский выбор именно радиофизической модели определен не только глубиной проработки. В основе ее многолетний труд ученых - представителей разных (чуть не десятка) наук нескольких институтов Академии наук бывшего Советского Союза. Являясь примером системного подхода к проблеме, она позволяет объяснить практически все основные явления, наблюдающиеся при воздействии низкоинтенсивного излучения как в миллиметровом, так и оптическом диапазонах волн. Одновременно эта модель позволяет интерпретировать и некоторые другие, известные в медицине, но не получившие до сих пор объяснения (например, связанные с механизмом иммунной защиты). Для радиоспециалистов модель представляет интерес еще и потому, что в ней используются понятия и принципы, известные из курсов теории колебаний, электродинамики и техники СВЧ. Именно положенные в основу радиофизической модели принципы наиболее широко используются при разработке радиоэлектронной аппаратуры для лечения, диагностики и профилактики неблагоприятных воздействий, включая химическое и ионизационное.

Несмотря на глубину научной проработки, описываемое в данном пособии направление, не может претендовать на законченность. Факт его гипотетичности постоянно автором подчеркивается и оговаривается, обсуждается область применимости использованного модельного представления.

Представляемый материал позволяет не только ознакомить студентов с самим эффектом так называемого информационного воздействия электромагнитного излучения, он служит наглядным примером системного подхода к решению исследовательских задач в любой области естествознания.

В заключение хочется особенно отметить гуманистическую направленность курса. Он знакомит будущих инженеров-исследователей, разработчиков новых радиоэлектронных устройств, эксплуатационников с новой областью применения их профессиональных знаний, областью, где последние достижения радиофизики и электроники, а также конверсионной

техники удалось непосредственно направить на осуществление самой гуманной цели - сохранение здоровья и жизни всего живого на Земле.

Редактор

ВВЕДЕНИЕ

КВЧ-терапия - новое направление практической медицины. Лечебный эффект достигается воздействием на живой организм электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн. Само название КВЧ-терапия определяет не столько частотный диапазон (крайневысоких частот - КВЧ) воздействия, сколько особенности реакции на него организма. Эффект имеет место при низких (не сопровождающихся тепловыми эффектами) уровнях мощности и в относительно узких частотных областях (в связи с этим описываемое направление иногда называют еще резонансной терапией).

КВЧ-терапия возникла на основе более, чем 30 летнего опыта теоретических исследований и практического применения миллиметровых волн нетепловой интенсивности. У истоков исследования стояли ученые и специалисты нашей страны. Среди них особое место занимают акад. Н.Д.Девятков и проф. М.Б.Голант, и не только как его основоположники. Результат их работы - представление о радиофизической природе процессов управления защитных функциями живого организма - обеспечило деятельность многих научных коллективов

В настоящее время эффективность воздействия электромагнитного излучения КВЧ-диапазона подтверждена фундаментальными научными исследованиями и многолетней медицинской практикой. Разработанные на основе этого явления методики и аппаратура успешно используются при лечении широкого спектра заболеваний, в частности, в гастроэнторологии, кардиологии, онкологии, травматологии, хирургии и др.

Среди особенностей КВЧ-терапии следует отметить, что это неинвазивная[1] терапия дистанного[2] действия, обладающая полилечебным[3] эффектом. При устранении болевых синдромов возможно проявление свойства оленатальности[4]. Она может использоваться

---

1 Без внедрения в живой организм.

2 Пораженный орган может находиться на расстоянии в сотни длин волн от места облучения.

3 При лечении одного заболевания излечиваются и другие.

4 В пораженном органе болевые ощущения исчезают или переходят в приятные.

как монотерапия, и в сочетании с различными медикаментозными средствами. До сих пор не отмечены случаи аллергии к ней. Следует особо отметить возможность формирования повышенной сопротивляемости (резистивности) организма к неблагоприятным, например, химическим и ионизационным воздействиям, не характерной для него в обычных условиях.

Хотя вопрос о механизме КВЧ-воздействия до сих пор остается дискуссионным, радиофизическая гипотеза Н.Д.Девяткова и М.Б. Голанта дает простое физическое толкование перечисленных особенностей. Именно поэтому ее положениями наиболее часто руководствуются при постановке экспериментальных исследований и трактовке их результатов, при разработке медицинских методик, терапевтической и диагностической аппаратуры. Основу рассматриваемого здесь представления о механизме электромагнитного воздействия составляет материал, изложенный в монографиях [1-3].

1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

История исследования влияния электромагнитных волн на живые организмы насчитывает не одно десятилетие. Работы в этом направлении начинались, как правило, сразу же после создания источников когерентных колебаний соответствующего диапазона. Результаты исследований подтверждают выдвинутое еще в начале 30-х годов А.Л.Чижевским положение о том, что живые организмы в той или иной мере воспринимают практически весь спектр электромагнитных волн. Последствия такого воздействия на живую среду (в отличие от косной (неживой) среды) с неизменными параметрами, в значительной степени определяются его активностью, нелинейностью, зависимостью от состояния и фазы развития - результата непрерывно происходящего обмена веществ, превращения энергии, цикличности развития и деления клеток, а также особенностей взаимодействия с внешним миром.

1.1. Типы электромагнитного воздействия на живые организмы

Современное представление о воздействии электромагнитных волн на живые организмы включает два основных понятия: энергетическое и информационное [4].

Эффективность воздействия, называемого энергетическим, определяется количеством энергии, выделяющейся в области воздействия, а имеющий место биологический эффект прямо зависит от уровня падающей мощности. При этом характер воздействия слабо зависит от рабочей частоты за исключением, впрочем, случаев, когда размеры объекта становятся соизмеримы с длиной волны. К ним относятся воздействия вызывающие нагрев отдельных частей организма, или нарушающие межмолекулярные связи (разрушающие злокачественные образования), в том числе, рентгеновское или гамма излучение и т.п.

Характерный пример энергетического воздействия [5,6] - СВЧ-гипертермия злокачественных образований.

Торможение роста и рассасывание этих образований происходит в результате их нагрева до 42...45°С и сопровождающего его усиления действия химиотерапевтических препаратов и ионизирующих радиационных воздействий. Преимущественному нагреву опухоли, кроме возможностей использования приемов технического характера (согласование, фокусировка), способствует худший, чем у здоровых тканей отвод тепла кровотоком.

К информационному принято относить воздействие, при котором биоэффект:

не зависит от уровня мощности облучения (зависимость носит пороговый характер, где нижний уровень определяется порогом чувствительности системы, а верхний - появлением побочных, в частности, энергетических эффектов);

осуществляется через одну из систем передачи и обработки информации организма (нервную, гуморальную[1] системы, систему биологическиактивных точек) и регулирующую (усиливающую или подавляющую) деятельность отдельных органов или их систем;

обладает возможностью адресной передачи и обработки информации (например, частотного кодирования);

мощность облучения, как правило, несоизмеримо меньше мощности управляемого процесса.

Простейший пример информационного воздействия - работа светофора. Информация не зависит от мощности (яркости) источника, если она превышает порог чувствительности сетчатки глаза, но еще не приводит к ослеплению. Она кодируется частотным спектром сигнала (цветом луча) и поступает в приемник (мозг) по каналам нервной системы. Энергия светового потока несоизмерима меньше энергии движения автомобиля. При этом заметим, что если бы предметом исследования был биофизический процесс в сетчатке глаза водителя, то были бы отмечены закономерности энергетического характера, так как эффективность процесса зависит от мощности светового потока. Другими словами, при определении типа процесса все зависит от выбора критерия оценки действия.

Примеры информационного воздействия на живые организмы можно найти в любой области электромагнитного спектра (от ионизирующего излучения до инфранизких частот), а также под действием постоянных магнитного и электрического

---

1 Кровеносная и лимфотическая

полей. Некоторые примеры такого воздействия приведены в табл. [7].

1.2. Биологическая значимость ММ диапазона

Исследованию особенностей КВЧ диапазона положило начало успешное завершение в нашей стране в конце 60-х годов работ по созданию источников когерентного электромагнитного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн. Это была первая в мире серия генераторов, снявшая проблему существования "белых пятен" в спектре когерентных электромагнитных колебаний.

Авторами разработок, академиком Н.Д.Девятковым и профессором М.Б.Голантом практически сразу был поставлен вопрос о необходимости изучения влияния этой области спектра на живые организмы [8].

Интерес к миллиметровому (30...300 ГГц) и следующему за ним субмиллиметровому (300...3000 ГГц) диапазонам обусловлен целым рядом их особенностей. Эволюция всего живого на Земле проходила при непосредственном воздействии различных внешних факторов, прежде всего электромагнитных и магнитных полей, основными источниками которых служат Солнце и другие космические тела, излучение атмосферы и Земли. Очевидно, что в процессе развития живые организмы адаптировались к естественному электромагнитному фону.

По мнению многих исследователей, биологические эффекты, связанные с влиянием электромагнитных полей, проявляются сильнее на тех участка диапазона, естественный фон которых на поверхности Земли незначителен. В связи с этим интенсивное поглощение в атмосфере[1] Земли (рис.1.1), т.е. практически, отсутствие естественных источников, является важной особенностью миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. При этом не исключается возможность использования этой области электромагнитного спектра самими организмом.

---

1 Первые два максимума (f=60 и 119 ГГц) обусловлены поглощением в кислороде, а третий (f=183 ГГц) - в парах воды. Каждый из этих максимумов обусловлен структурой вращательных спектров молекул и представляет собой огибающую большого числа спектральных линий (вблизи f=60 ГГц их около 20, f=183 ГГц - порядка 900).

Весьма значимый фактор - интенсивное, максимальное[1] в широком диапазоне частот поглощение в воде, из которой человеческий организм состоит более, чем на 80%. Облучение вызывает микротоки биологически активных веществ и воды через кожный покров. Характерные размеры микроанатомических неоднородностей кожи в миллиметровом диапазоне волн оказываются соизмеримыми с длиной волны, что, в свою очередь, обусловливает резкую частотную зависимость биологического эффекта.

Согласно теоретическим оценкам английского ученого Г.Фрёлиха [9], именно миллиметровому диапазону соответствует максимум эффективности преобразования электромагнитной энергии в механическую, в частности, энергию акустических колебаний в липидных мембранах клетки.

Еще одна важная особенность - большая информационная емкость диапазона при еще низких расходах энергии на ее генерацию (по сравнению, например, с оптическим диапазоном [10]). Все это создает благоприятные условия использования диапазона, например, для организации связи и управления внутри организма, причем при весьма низких уровнях мощности управляющих сигналов. Естественно, все эти особенности учитывались и при постановке исследований по влиянию излучения миллиметровых волн на живые организмы.

1.3. Живые организмы как объект исследования

В отличие от объектов косной природы, живой организм обладает рядом особенностей, которые необходимо учитывать при постановке

---

1 Глубина проникновения ЭМИ в тело человека (расстояние на котором амплитуда волны уменьшается в е-раз) уменьшается с ростом частоты. В дециметровом диапазоне она составляет более десяти см, в сантиметровом - единицы см, в миллиметровом - порядка 1мм. В более высокочастотной области спектра - тенденция обратная: в инфракрасном и диапазоне видимого света [8] она составляет от долей до нескольких десятков мм (с аномально высокой проницаемостью в области λ=950нм - до 70мм) и далее продолжает расти с ростом частоты (рентгеновский и γ диапазон).

Таблица

Теоретические и экспериментальные оценки чувствительности организмов к электромагнитным полям и интенсивности естественных полей биосферы [7]

Частотный диапазон поля	Оценка минимальной напряженности поля для биологических эффектов *	Экспериментальные данные				Естественные поля биосферы в средах при частотах п.5		
		Вид организма	Характер биологического эффекта	Частота в опыте, Гц	Напряженность поля в опыте В/М	Источники полей	Средняя напряженность поля В/М	Максимальная напряженность поля (возмущенного) В/М
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высокие частоты	10^3-10^4 В/М (для частот 10^7-10^6 Гц)	Кролик	Изменение условно-рифлекторной деятельности	$(0.6$-$1.2)\cdot10^7$	$4\cdot10$	Атмосферики	10^{-4} 10^{-3}	10^{-2} 10^{-1}
		Человек	Сосудистый условный рефлекс	$7.3\cdot10^5$	$(2$-$3)10^4$	Поля атмосферных разрядов, проникающие в водную среду (Глубина 3 м)	10^{-3}-10^{-4}	10^{-2}-10^{-1}
Низкие частоты	10^4-10^5 В/М (для частот 10^4-10^2 Гц)	Рыбы	Пищевой условный рефлекс	10^3-10^4	10^{-4}-10^{-3}			
		Рыбы	Оборонительный условный рефлекс	500-50	10^{-4}-10^{-3}			
		Клетки млекопитающих	Замедление размножения	1000-100	1-2	Атмосферики	10^{-2}-10^{-3}	0.1-1
Инфранизкие частоты	10^5-10^6 В/М (для частот 10-0.1 Гц)	Человек	Укорочение циркадного ритма физиологических процессов	10	2.5	Короткопериодные колебания геомагнитного поля и резонансные колебания полости “ионосфера-поверхность Земли”	$(3$-$6)\cdot10^{-3}$	$(3$-$6)\cdot10^{-1}$
		Кролики, собаки	Замедление ритма сердца, снижение вольтажа ЭКГ	8	0.5			
		Кролики, собаки	Изменение электрической активности коры головного мозга	2	0.4		$(2$-$3)\cdot10^{-3}$	$(2$-$3)\cdot10^{-1}$
		Бактерии (стафилококки и др.)	Ускорение размножения и морфологические изменения	0.1-1	10^{-2}		10^{-7}	
Постоянное электрическое поле	10^6 В/М	Рыбы	Локация по изменению градиента поля	-	10^{-6}	Разность потенциалов электрического поля в океанах	$2\cdot10^{-6}$	$3\cdot10^{-5}$
		Птицы	Повышение двигательной активности	-	$0.6\cdot10^3$	Горизонтальная составляющая геомагнитного поля		
Постоянное магнитное поле	10^6 В/М	Птицы	Ориентация по магнитному полю (без геомагнитного)	-	$0.11\cdot10^3$		$0.3\cdot10^3$	0.3
		Улитки	Изменение ориентации относительно стран света	-	0.1^3			

*) Теоретические оценки для ЭМ полей по тепловому эффекту, а для постоянных и медленно меняющихся полей - по эффекту ориентации белковых молекул.

экспериментальных исследований. Во-первых, это связано с тем, что в организме как в автономной системе, локальные изменения (вызванные, например, неблагоприятным внешним воздействием) в той или иной степени влияют на функционирование на первый взгляд не связанных с ним органов или систем органов. Такая глубокая взаимосвязь позволяет говорить о существовании развитой информационно-управляющей системы. Ее деятельность направлена на восстановление исходного состояния или приспособления к новым условиям существования с возможно меньшими изменениями в процессах, обеспечивающих жизнедеятельность организма, т.е. на поддержание постоянства гомеостаза. Как правило, эта связь нелинейная, зависящая от степени нарушения, уровня и фазы развития организма, его состояния, определяемого как внутренними, так и внешними факторами. Иными словами, жизнедеятельность - результат сложных взаимосвязей между различными элементами организма: структурами клеток, отдельными органами, их системами и т.д. Поддержание гомеостаза связано с существованием гибкой системы авторегуляции, с помощью которой отслеживаются как изменения в самом организме, так и во взаимодействии его с внешней средой. Очевидно, что реакция организма на внешнее воздействие во многом определяется его внутренним состоянием.

Во-вторых, организмы, даже относящиеся к одному и тому же виду, тем не менее отличаются друг от друга: каждый из них индивидуален, что обусловливает необходимость тщательного подбора объектов исследований и обеспечения равных начальных условий при проведении экспериментов.

Наконец, в третьих, реакции различных биопараметров организма на воздействие могут не только существенно различаться, но часто оказываются совершенно несопоставимыми. Поэтому еще одна проблема исследования связана с выбором информативного параметра, реакция которого наиболее полно отражала бы основные, происходящие в организме изменения.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Экспериментальное исследование

Цель начального этапа исследования - выявление общих закономерностей КВЧ-воздействия на живые организмы. Изучалась реакция различных биологических параметров организма на действие когерентного электромагнитного излучения определенной частоты, уровня мощности и длительности воздействия. Исследовались организмы практически всех уровней сложности организации: от простейших (бактерии, клетки) до млекопитающих. Режимы воздействия задавались с помощью экспериментальной установки (рис.2.1), включающей перестраиваемый КВЧ-генератор, устройства контроля мощности, рупорную антенну. Для снижения уровня отражений от объекта между ним и рупором устанавливались элементы согласования. Контролировались уровни мощности падающей, отраженной, а в случае с микроорганизмами - и прошедшей волны (толщина слоя среды с микроорганизмами не превышала 500 мкм).

Уже первые эксперименты показали, что реакция на электромагнитное излучение интенсивно проявляется у организмов, находящихся в угнетенном состоянии. Поэтому для усиления эффекта в процессе исследования организм подвергался дополнительному воздействию какого-либо фактора, неблагоприятного для его жизнедеятельности. В частности, серия экспериментов была посвящена изучению клеток костного мозга животных, получавших сильную дозу рентгеновского облучения. В естественных условиях оно вызывает резкое изменение числа клеток N. Было установлено, что если облучению предшествует воздействие волн миллиметрового диапазона, то изначальное количество N_0 клеток сохраняется практически неизмененным. Организм становится как бы невосприимчивым к сильному деструктивному фактору (рис.2.2) - проявление так называемой неспецифической резистивности (сопротивляемости) организма.

Вариации параметров воздействия позволили выявить ряд специфических особенностей. Так, вариация мощности облучения в широких пределах показала, что реакция организма наблюдается, если плотность мощности превышает некоторый пороговый уровень (рис.2.3 а). При превышении его на 4...5

порядков (до появления эффектов теплового характера) характер биологического отклика оставался практически неизменным.

Реакция организма на изменение частоты облучения (рис.2.3б) проявляется в достаточно узких (резонансных) полосах частот. При этом обращает на себя внимание частое чередование резонансных полос. На различных резонансных частотах характер биоотклика может оказаться существенно различным.

Биоэффект проявляется спустя некоторое время после начала облучения и зависит от его продолжительности (рис.2.3в). У микроорганизмов она составляет от 15...20 мин до 1...2 час иногда после нескольких сеансов; у сложных организмов - после нескольких суток (так называемое свойство кумулятивности). Реакция на воздействие может сохраняться достаточно продолжительное время. В частности, у микроорганизмов она может проявляться вплоть до нескольких поколений.

У животных эффект не связан с непосредственным облучением больного органа, который отвечает за изменение контролируемой функции. Расстояние между ним и местом облучения может в сотни и тысячи раз превышать то, на котором плотность мощности облучения из-за потерь в тканях снижается на порядок (около 1 мм в миллиметровом диапазоне)[1]. В то же время эффективность воздействия излучения на различных участках поверхности тела оказывается неодинаковой. По данным [1] весьма действенным оказывается, в частности, облучение точек акупунктуры (биологически активных точек на теле человека, используемых для иглоукалывания, прижигания или массажа в древнекитайской медицине).

Анализ полученных результатов показал, что несмотря на общий характер биоотклика, контролируемого по различным параметрам, их количественные характеристики могут существенно отличаться друг от друга, что делает нецелесообразным увеличение числа контролируемых параметров поскольку их результаты оказываются несопоставимы. Более рациональным оказывается изучение реакции параметра, отражающего общее состояние организма. При исследовании культур микроорганизмов в качестве такого интегрального

1 Практикуемая в настоящее время методика лечения язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки предполагает КВЧ облучение теменной области.

параметра в [3] был выбран период деления - время развития клеток между циклами деления. Этот параметр непосредственно связан с основной функцией жизнедеятельности как отдельных особей, так и популяции в целом - сохранения и продолжения рода, т.е. является интегральной характеристикой состояния организма.

Поведение интегрального параметра исследовалось в структурах так называемых синхронных клеток (с совпадающими начальными фазами развития). Для этого из общего числа однотипных клеток выделялись и отбирались особи с близкими характеристиками, что обеспечивало одновременность первых циклов их деления. В естественных условиях уже после нескольких первых циклов синхронность деления нарушается и закономерность роста числа клеток N становится гладкой экспоненциальной функцией времени (рис.2.4).

Известно, что в процессе развития клетка пребывает в возбужденном состоянии, а значит должна интенсивно реагировать на внешнее излучение. Было сделано предположение, что излучение определенной частоты должно оказывать на нее синхронизирующее воздействие, в частности обеспечивать выравнивание периодов деления клеток всей популяции. Экспериментально показано [11], что синхронность цикла деления обеспечивалась даже при относительно кратковременном воздействии (от десятков минут до двух часов) когерентным сигналом (λ=6,5мм, P=0,25мВт/см^2). При этом кривая роста числа клеток из монотонно экспоненциальной зависимости $N(t)$ приобретала ступенчатый характер (рис.2.4б), который после прекращения облучения сохранялся в течение до двух суток. Следует подчеркнуть, что эффект синхронизации проявлялся на определенных частотах облучения. Общий характер частотной зависимости совпадает с представленным на рис.2.3б. Однако для каждого типа микроорганизмов характерен свой собственный спектр синхронизации. Разные клетки (например, однотипные клетки, принадлежащие разным особям) не поддаются взаимной синхронизации. По-видимому, это связано с существенным различием их собственных спектров.

2.2. Анализ результатов

Экспериментальные исследования организмов различных типов в широком диапазоне изменения

параметров облучения позволили выявить ряд закономерностей:

биоотклик наблюдается после воздействия определенной длительности и некритичен к плотности мощности облучения начиная с некоторой минимальной (пороговой) величины;

биоотклик имеет место в относительно узких (порядка $10^{-3}...10^{-4}$ от средней частоты) часто чередующихся частотных полосах;

после прекращения облучения изменение в функционировании организма сохраняется в течение продолжительного времени, связанного с длительностью облучения;

биоэффект зависит от исходного состояния организма и имеет место, если его состояние отлично от нормального.

Кроме того, следует отметить общность основных признаков воздействия излучения на организмы различных уровней организации (от одноклеточных до млекопитающих), что указывает на универсальность процессов, регулирующих их жизнедеятельность.

Биоотклик проявляется лишь до тех пор, пока нормальное функционирование организма не будет восстановлено. После этого облучение не вызывает каких-либо изменений его функционирования. Другими словами, КВЧ-излучение способствует восстановлению временно утраченных функций, и не влияет на работу здорового организма.

Следует отметить также необычайно высокую для биологических объектов воспроизводимость результатов экспериментов: стабильность результатов при воздействии сигналом заданного спектра на особи одного вида.

Перечисленные результаты не удается достичь, если воздействие носит тепловой характер. Тем не менее это не исключает возможности существования тепловых эффектов при самом низкоэнергетическом воздействии.

Самый общий вывод из анализа этих закономерностей в том, что воздействие носит информационный характер, причем первичное действие КВЧ-излучения проявляется на клеточном уровне и связано с биоэлементами, общими для различных организмов. Ими, в частности, могут быть элементы клеточных мембран, молекулы белков-ферментов и др., для которых характерны собственные механические колебания, частоты которых (в зависимости от

скорости звука в них) находятся в диапазоне $(0.5-5)*10^{10}$ ГГц.

2.3. Представление о механизме воздействия

В настоящее время существует несколько гипотез о механизме низкоэнергетического КВЧ-воздействия на живые организмы [4]. Большинство из них в качестве первичной мишени электромагнитного излучения рассматривает воду, содержащуюся в верхних слоях кожного покрова. Изменение энергетического состояния воды, входящей в состав различных белковых структур, по одной из гипотез, вызывает микроциркуляцию биологическиактивных веществ, по другой - активацию белков, переводя их в возбужденное состояние с последующей интенсификацией их биофизической активности, по третьей - благодаря пьезоэлектрическим свойствам определенного типа гидратированных белков энергия электромагнитного излучения преобразуется в нейроимпульсы, воздействующие на центральную нервную систему организма. Как видно ни одна из них не учитывает частотную зависимость биоотклика.

Ключевая идея рассматриваемой ниже гипотезы - генерация живой клеткой собственных колебаний акусто-электрической природы. Их возникновение обусловлено деформацией клеточной оболочки (мембраны) при заболевании организма. Начало процесса автогенерации связывается с формированием сгустков белковых молекул в местах наиболее резких искажений поверхности мембран. Механические дипольные колебания белковых молекул и структура взаимного расположения их сгустков на мембране обеспечивает выделение из общего шумового спектра его отдельных составляющих. Источником энергии колебаний является процесс жизнедеятельности организма - метаболизм. Форма и степень искажения, а также место его расположения на мембране относительно жизненно важных центров клетки связаны с типом заболевания и обеспечивают возбуждение соответствующего им спектра частот.

Возбуждение собственных колебаний в клетке соответствует начальному этапу действия общего механизма защиты организма. Этот этап включает получение информации о патологии, управление защитными функциями на уровне отдельной клетки и передачи информационного сигнала по канала связи организма.

Внешнее КВЧ-воздействие эффективно в той степени, в которой оно может имитировать собственные колебания в клетке и тем самым интенсифицировать деятельность ее защитных функций. Оно оказывается эффективным, если по частоте совпадает с колебаниями собственного спектра клетки. Связанное с этим ускорение процесса формирования белковых подструктур сопровождается интенсификацией процессов на биохимическом уровне: воспроизводством клеткой белков требуемого типа, регулированием ионного транспорта через мембрану и др.

3. РЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА КЛЕТКИ

Остановимся более подробно на частотных характеристиках биоотклика. Как уже отмечалось, реакция организма имеет место в узких часто чередующихся частотных полосах. Хаотичный на первый взгляд набор полос напоминает картину наложения нескольких линейчатых спектров с практически постоянным для каждого спектра, интервалом между полосами. Для спектров биоотклика характерны величины относительных интервала F/f=0.3...1.3% и полосы пропускания $\Delta f/f=10^{-3}...10^{-4}$. Подобными спектральными характеристиками обладают известные в акустике и технике СВЧ резонансные системы большой электрической длины. К ним, в частности, относятся резонаторы с колебаниями типа "шепчущей галереи" с замкнутой в кольцо волноведущей структурой. Условие резонанса в таких системах определяется равенством длины L волноведущей области целому числу n длин волн: $L=n\lambda$. Частотная характеристика каждого из типов колебаний представляет собой практически эквидистантную сетку резонансных частот, интервал F между которыми связан с величиной групповой скорости $V_{гр}$ волны, образующей колебание в резонаторе, соотношением: $F=V_{гр}/L$. Каждый из типов волны направляющей структуры образует сетку резонансных частот с характерными для него величинами Q и F. Наложение сеток резонансных частот дает картину, подобную наблюдаемому биоотклику. Это подобие послужило основой рассматриваемого ниже модельного представления.

3.1. Структура клетки

Результаты исследования клеточных структур указывают на то, что при КВЧ-воздействии биоотклик носит частотнозависимый (резонансный) характер. Предполагается, что частотная зависимость связана с процессами регуляции в самих клетках. При этом в клетке должны существовать области, обладающие минимальными потерями на КВЧ.

Обратимся сначала к структуре клетки. Под ее внешней оболочкой (плазмотической мембраной) располагаются клеточное ядро и органойды, окруженные цитоплазмой. Весьма упрощенно органойды можно рассматривать как отдельные системы живого организма, выполняющие функции, например, пищеварения, газообмена, размножения и т.п. Каждый из них имеет собственную мембрану - оболочку, непосредственно контактирующую с цитоплазмой. Последняя по своему составу представляет собой водно-солевой раствор, обладающий большими омическими потерями в КВЧ диапазона.

Основу мембраны составляют липиды - жироподобные вещества. Структура мембраны (рис.3.1) включает гидрофобный слой, толщиной 33...38Å, отделенный от цитоплазмы гидрофильными прослойками, толщиной около 10Å. На КВЧ погонные потери в гидрофобном слое составляют около 10 дБ/см. Это означает, что потери на длине периметра L для клетки средних размеров (D=5 мкм), составляют $15*10^{-4}$ дБ, т.е. весьма незначительны. По своей структуре клеточная мембрана напоминает плоский диэлектрический волновод в оболочке [11] или световод. При этом гидрофобный слой выполняет функции волноведущей структуры, а гидрофильные прослойки играют роль буфера (оболочки) между ним и цитоплазмой.

3.2. Природа и скорость распространения волн в клеточной мембране

Для оценки фазовой скорости $V_ф$ волн клеточной мембраны в [1] использовано подобие частотных спектров биоотклика и резонансных структур с колебаниями шепчущей галереи. Предполагалось, что величина $V_ф$ одного порядка с групповой скоростью. Длину периметра мембраны в осевом сечении можно определить как $L=\pi D$, где D - усредненный диаметр клетки. Исходя из средних размеров клетки (D=0.5...10 мкм) с учетом экспериментально установленного значения F, фазовая скорость $V_ф$ составляет около 400 м/сек. По порядку величины это соответствует скорости распространения акустической волны. В КВЧ-диапазоне длина

акустической волны Λ в 10^6 раз меньше электромагнитной волны в липидной мембране[1] (около $6*10^3$ мкм). С учетом сказанного можно оценить величину продольного порядка резонанса n: для клеток кишечной палочки она составляет около 200, а для клеток дрожжей 1500.

Допуская акустическую природу колебаний, величину скорости распространения волны в мембране можно оценить с учетом ее механических свойств | 14 |. Полагая значение модуля упругости гидрофобного слоя мембраны $K_у$=0.45 Н/м, его толщины $d=5*10^{-9}$ м и удельной плотности σ=800 кг/м^3, $V_ф=(K_у/(d\sigma))^{1/2}$, т.е. дает $V_ф$ =340м/с. По порядку величины совпадает с полученной ранее.

Как известно [11], клеточные мембраны поляризованы. При нормальном функционировании клетки напряженность электрического поля мембраны порядка 10^7В/м. Распространение акустической волны представляет собой упругое смещение частиц среды. Связанное с ним изменение толщины мембраны сопровождается изменением напряженности. Это, в свою очередь, вызывает появление переменной составляющей электрического поля, изменяющейся с частотой возбудивших ее акустических колебаний. При малых изменениях толщины (порядка $10^{-5}d$) мембрана представляет собой линейную систему, где отношение амплитуд акустических и электрических переменных составляющих сохраняется постоянным и независимым от амплитуды распространяющейся волны. Это указывает на существование в ней акустоэлектрической волны, в которой энергия акустических колебаний преобразуется в энергию электрических.

Процессы в мембране аналогичны преобразованиям в некоторых низкочастотных параметрических системах. Например, энергия, затрачиваемая на изменение расстояния между обкладками конденсатора преобразуется в энергию электрического поля.

---

[1] В середине миллиметрового диапазона минимальная длина электромагнитной волны в мембране $\lambda_м=\lambda_o/(\varepsilon)^{1/2}$, ($\lambda_o$- длина волны в свободном пространстве, диэлектрическая проницаемость мембраны ε=2..2,5) составляет $\lambda_м$=3,1...3,5мм.

При оценке V_ϕ значения параметров были установлены весьма приближенно. Величина V_ϕ зависит от f, и параметров мембраны (ε, d и D). На фиксированной частоте изменение d у одной из однотипных клеток приводит к взаимообразному изменению D и, соответственно, V_ϕ. Что касается f и n, то их значения остаются постоянными.

Этим, по-видимому, объясняется тот экспериментально установленный факт, что при одинаковых условиях проведения исследований, несмотря на индивидуальные различия клеток, весьма высокой воспроизводимостью обладает не только тонкая структура спектров, но и значения частот, на которых имеют место определенные биоэффекты.

Исходя из этого положения становится понятной и высокая чувствительность клетки к малейшим изменениям условий ее функционирования, связанная с генерацией определенного спектра частот. Каждому типу патологии отвечает определенный набор частот с соответствующими n. Высокая густота спектра позволяет отслеживать малейшие отклонения от нормы - изменения гомеостаза. В данном случае можно говорить о точном адресе патологии, однозначно определяемом генерируемым клеткой типом колебания, его амплитудой и резонансной частотой.

Оценивая возможный диапазон генерации клеткой акустоэлектрических колебаний, отметим, что его низкочастотная граница определяется минимальным порядком резонанса n=1. Для клетки средних размеров она соответствует $2*10^7$Гц (Λ=15м). Это весьма грубая оценка, поскольку добротность открытой резонансной системы при n=1, впрочем, как и связь с ней, исчезающе малы. Высокочастотная граница определена не столь четко. По-видимому, она связана с возрастанием энергии квантов до величин, уже не совместимых с жизнедеятельностью: в частности, приводящих к нарушению межмолекулярных связей. Вероятно высокочастотная граница соответствует ультрафиолетовому диапазону. Акустоэлектрические волны в этом диапазоне уже не возбуждаются, но при этом становится реальной непосредственная связь клетки с колебаниями электромагнитной природы.

3.3. Волноведущие свойства мембран

Распространение акустических волн в изотропной среде происходит благодаря упругой деформации - смещению частиц среды в продольном и поперечном направлениях (траектория смещения частиц близка к эллиптической) по отношению к направлению распространения. Каждая из мод распространяется со своей не зависящей от частоты фазовой скоростью V_ϕ, определяемой упругими свойствами и температурой среды.

Свободная (механически ненагруженная) граница раздела двух сред является направляющей для так называемых релеевских (поверхностных) акустических. Поле ее максимально на границе сред и экспоненциально спадает при удалении от нее. Скорость спадания (глубина d проникновения поля в среду) прямо зависит от V_ϕ поверхностной волны. При наличии двух близко расположенных границ (слой диэлектрика толщиной порядка Λ) поперечное распределение поля в слое в зависимости от типа волны описывается функцией косинуса или гиперболического косинуса (Косинусоидальное распределение поля характерно также для открытых линий передачи электромагнитных волн - плоского диэлектрического волновода. В пространстве, окружающем волновод, поле экспоненциально убывает при удалении от его поверхности [11]. Глубина σ проникновения поля во внешнюю среду имеет прямую зависимость от V_ϕ. Для волн липидной мембраны уменьшению поля в 10 раз соответствует σ=10...20Å. Это означает, что поле акустоэлектрической волны практически не выходит за пределы гидрофильного слоя и, таким образом, не контактирует с цитоплазмой - средой с большими потерями. Потери акустоэлектрической волны в гидрофобном слое определяются акустической компонентой. Что касается электромагнитных волн КВЧ-диапазона, то и для них затухание в гидрофобном слой оказывается небольшим.

Рассмотренный механизм позволяет оценить потери в липидной мембране без учета проявления ее биологических свойств. В отличие от эффектов в

косных структурах для живой ткани характерна сложная нелинейная реакция на внешнее воздействие. В сложной метаболической системе эффект может усиливаться, о чем говорят эксперименты, фиксирующие интенсивную реакцию организма на слабое внешнее воздействие. В ряде случаев, напротив, регистрировалось резкое возрастание активных потерь в мембранах, как следствие нарушения нормальных условий функционирования клетки, например, в результате воздействия на нее ионизирующего излучения.

4. БЕЛКОВЫЕ ПОДСТРУКТУРЫ И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССАХ АДАПТИВНОГО РОСТА

Как и у любой системы, находящейся в состоянии устойчивого равновесия, реакция живого организма на возмущающее воздействие внешних сил сводится к уменьшению действия этих сил. Деятельность защитных систем организма направлена на восстановление временно утраченных функций или, если это невозможно, сведению к минимуму отклонения его функций в новых условиях существования, т.е. приспособлению. Последовательность действий по восстановлению или приспособлению определяется общим понятием - *процесс адаптации*.

Установлено, что КВЧ-воздействие может привести к устранению одновременно нескольких функциональных нарушений. Это указывает на некий универсальный способ управления действием защитных систем организма. Во всяком случае, такая универсальность кажется наиболее рациональной при всем многообразии проявлений вредных факторов, с одной стороны, и ограниченности его энергетических возможностей, с другой.

При выявлении причин многоцелевого действия КВЧ (так называемого полилечебного эффекта) исследователи обратили внимание на хорошо известный биологам факт - при различных функциональных нарушениях в организме наблюдается искажение формы клеточных мембран. По прошествии некоторого времени в местах искажений появляются сгустки белковых молекул. Причем наибольшие размеры сгустки имеют в местах наиболее резких деформаций мембраны. Как сам процесс формирования, так форма и размеры белковых структур во многом определяются характером искажений мембраны, т.е. зависят от вида и степени патологии. На это, в частности, указывают результаты исследования морфологии клеток крови при различных заболеваниях. Очевидно, что процесс формирования сгустков (и расформирования их после полного или частичного устранения деформации) каким-то

образом связан с нормализацией функционирования клетки.

4.1. Роль белковых молекул в процессе возбуждения собственных колебаний в клетке

Рассматриваемая система представлений о механизме воздействия КВЧ базируется на предположении, что оно взаимодействует с собственными колебаниями в клетке, используемыми для управления процессами на внутриклеточном уровне.

Согласно данным морфологических исследований, образование сгустков происходит как при искажении мембраны в результате патологии (рис.4.1), так и под воздействием электромагнитного излучения на мембране здоровой клетки.

Естественно связать возникновение колебаний в клетке с искажением клеточной мембраны и образованием на ней белковых сгустков. Выяснению причин адгезии белковых молекул к возмущенной мембране клетки посвящены исследования ряда ученых.

Детальное изучение физических свойств белка [12] показало, что его молекулы обладают частотно зависимыми свойствами. Установлено также, что КВЧ оказывает резонансное воздействие на молекулы белка, в результате которого они переходят в новое конформационное состояние, отличающееся распределением заряда электронов и градиентом электрического поля на ядре железа. При этом на резонансных частотах происходят изменения отдельных частей структуры молекулы, изменяются ее динамические свойства. Такие изменения рассматривается как результат возбуждения в них акустоэлектрических колебаний на резонансных частотах. Добротность Q колебаний молекулы белка составляет порядка 10^4. Поскольку энергия колебаний во много раз превосходит энергию теплового движения, в таких молекулах возможно ее эффективное накопление, что способствует выделению даже слабых сигналов на фоне шумов.

Возможность возбуждения колебаний в белковых молекулах электромагнитным сигналом обусловлена

тем, то ионы в составе молекулы распределены неравномерно, благодаря чему молекулы обладают значительными дипольными моментами [12]. Сигналы различных частот КВЧ-диапазона взаимодействуют с различными участками молекул. Такое взаимодействие должно быть наиболее эффективным вблизи клеточной мембраны, длины акустических волн в которой соизмеримы с размерами молекулы.

Таким образом, притяжение белковых молекул к возмущенной мембране связано, по-видимому, с существованием в них собственных дипольных колебаний.

4.2. Физические свойства клеточной мембраны

По соотношению размеров и механическим свойствам мембраны клетки могут быть отнесены к тонким оболочкам. Анализ процессов при их деформации с позиций теории тонких упругих оболочек проведен в [1]. Приводящие к деформации мембраны патологические изменения малой и средней тяжести (при которых организм способен полностью восстановить временно утраченные функции) рассматриваются как упругие деформации, полностью исчезающие после прекращения действия вызвавшей их силы (направленной внутрь оболочки), а неустранимые изменения, к которым организм вынужден приспосабливаться для выполнения функций жизнедеятельности - как пластические.

Поскольку в восстановлении исходной формы мембраны важную роль играют адгезируемые к ней белковые молекулы, процесс адаптации представляется как результат направленной бомбардировки ими областей деформации. Другими словами, молекулы, находящиеся в цитоплазме в постоянном движении, направляются к местам наибольшей деформации, где они, внедряясь в мембрану, передают ей свою энергию и, таким образом, способствуют выправлению ее формы. При высокой степени деформации, носящей характер пластической, скопление белковых молекул приводит к упрочнению мембраны и в результате к ограничению величины деформации.

Исследования показали, что силы, под действием которых белковые молекулы покидают

цитоплазму и притягиваются к мембране, определяются комбинацией электрических полей поляризации и переменной составляющей поля акустоэлектрической волны. Амплитуда переменной составляющей много меньше постоянного поля поляризации мембраны, имеющего порядок 10^7В/м. Непосредственно на поверхности мембраны основное влияние на формирование сил притяжения молекул оказывает поле поляризации. Его влияние на подошедшие молекулы связано с неоднородностью поверхностного слоя мембраны: за счет уменьшения плотности упаковки цепей граничных липидных молекул мембраны белковые молекулы при ударе могут внедряться в ее поверхностный слой, передавая ей свою энергию.

Внедрение молекул в неоднородный поверхностный слой мембраны происходит на глубину порядка 3Å. В этом слое поле поляризации быстро меняется от нулевого на поверхности до 10^7В/м в однородной части липидной мембраны. Сила, действующая на белковые молекулы в неоднородном электрическом поле у поверхности мембраны с учетом величины дипольного момента белковой молекулы $d=10^2...10^3$ дебай, составляет $10^{10}...10^{11}$ Н. При этом энергия, сообщаемая мембране при ударе молекулы о ее поверхность, составляет $10^{-20}...10^{-21}$ Дж, что соответствует порядку величины средней кинетической энергии теплового движения молекулы kT.

Таким образом, ударяясь о мембрану, белковые молекулы, передают ей свою энергию, соизмеримую с их средней кинетической энергией.

4.3. Влияние переменных электрических полей акустоэлектрических волн

В отличие от поля поляризации электрическая составляющая поля акустоэлектрические волны взаимодействует с белковыми молекулами, находящимися не только на поверхности мембраны, но и в прилегающем к ней слое цитоплазмы. Глубина проникновения поля в цитоплазму прямо зависит от степени деформации мембраны и амплитуды колебаний.

В области поля акустоэлектрической волны собственные колебания диполей белковых молекул синхронизируются с ним. Причем синхронизируются колебания тех диполей, одна из резонансных частот которых близка к частоте волны, распространяющейся по мембране. Возрастание числа синхронно колеблющихся диполей белковых молекул само по себе создает условия для выделения из широкого спектра колебаний тех, частота которых совпадает с частотой колебаний диполей, и росту их амплитуды.

Проникновение поля акустоэлектрических волн в цитоплазму приводит к синхронизации колебаний белковых молекул, одна из дискретного спектра резонансных частот которых совпадает с частотой поля - частотой патологии $f_п$. Именно эти молекулы направляются и адгезируются к мембране, передавая ей свою энергию. В результате амплитуда колебаний на $f_п$ возрастает, а спектр их сужается. Глубина проникновения поля в цитоплазму увеличивается, что, в свою очередь, вызывает рост числа молекул, направляемых к мембране.

Такой гипотетический механизм объясняет наблюдаемое экспериментально (рис. 4.2) увеличение размеров элементов подструктур в области наибольших искажений формы мембраны.

Увеличение числа синхронно колеблющихся диполей в ограниченных областях мембраны способствует увеличению суммарной мощности и, соответственно, притяжению молекул из более удаленных областей цитоплазмы.

Внешнее электромагнитное излучение на частоте $f_п$ синхронизирует колебания белковых молекул независимо от их нахождения. Это способствует выделению колебаний над уровнем тепловых шумов и установлению в мембране собственных акустоэлектрических колебаний. Места скопления молекул связаны с расположением пучностей поля. Внешнее излучение способствует образованию белковых сгустков и, таким образом, ускоряет процесс адаптации.

На мембраны клеток здорового организма (т.е. не имеющих деформированных участков) внешнее излучение оказывает аналогичное воздействие. Появление белковых подструктур не приводит к

заметным отклонениям в функционировании здорового организма [2,12].

С локализацей белковых молекул на поверхности мембраны уменьшается их число в цитоплазме, вызывая тем самым их усиленное воспроизводство клеткой. Увеличение числа молекул определенного типа, по-видимому, способствует повышению защитных функций организма к некоторым видам неблагоприятного воздействия. Возможно этот механизм лежит в основе возникновения повышенной сопротивляемости организма (неспецифической резистивности), не свойственной ему в обычных условиях.

4.4. Возможный механизм автогенерации акустоэлектрических волн в деформированной клеточной мембране

Проведенные исследования дают основание полагать, что нарушение нормального функционирования организма проявляется в виде деформации клеточных мембран. С возникновением патологии организм становится восприимчивым к воздействию внешнего электромагнитного излучения. Такая восприимчивость - результат формирования белковых подструктур связи излучения с возбуждающимися в клетке собственными акустоэлектрическими колебаниями с близкими резонансными частотами. При этом форма деформации определяет спектр возбуждающихся в клетке колебаний. Замечено, что резкие деформации, как правило, одиночны. Это позволяет рассматривать деформированный участок мембраны как единственный источник генерации.

Рассмотрим клеточную мембрану с участком резкой деформации (рис.4.3). Ширину наиболее суженной области деформации обозначим через l, полагая, что именно на этом участке энергия дипольных колебаний белковых молекул наиболее эффективно преобразуется в акустоэлектрической волны мембраны. От него, как от источника, волны могут распространяться вдоль мембраны в любом направлении. На периметре сечений, проходящих через область деформации, для которых выполняются

условия $L=n\Lambda$, устанавливается резонансный режим. Добротность таких резонаторов большой электрической длины (см.гл.3); несмотря на потери в липидном слое мембраны, оказывается значительной. При этом величина коэффициента передачи резонансного контура зависит от длины периметра L и максимальна при минимальном n.

Состав спектра возбуждаемых частот определяется оптимальными условиями передачи мембране энергии наибольшего числа белковых молекул и минимальными потерями на этих частотах. Первому условию отвечает равенство $l=m\Lambda/2$, где m - целое нечетное число. Наибольшая эффективность, по-видимому, имеет место при $m=1$, когда размер деформированной области равен половине длины акустоэлектрической волны. При этом обеспечивается притяжение молекул по всей поверхности диаметром l. На более высоких частотах ($m>1$) площадь притяжения сокращается в два - три раза при ($m=3$[1]), а мощность этой составляющей спектра падает. Кроме того, пропорционально уменьшению Λ (см. 4.3) сокращается расстояние, с которого белковые молекулы подтягиваются ближним полем волны к мембране. Энергия высших гармоник по сравнению с энергией основной снижается достаточно быстро.

На частотах, соответствующих $m<1$, активные потери резко возрастают. По аналогии с известными конструкциями активных СВЧ приборов область деформации можно рассматривать как "горячий" резонатор, содержащий активные элементы, а высокодобротный контур обратной связи играет роль элемента стабилизации устройства генерации.

Таким образом, возникающие деформации способствуют возбуждению колебаний с длиной волны $\Lambda=2l$, величина которой уточняется вторым условием: $\Lambda=L/n$. Выделению конкретного типа колебаний среди ряда близких могут содействовать внешняя или (если речь идет о системе однотипных клеток) взаимная синхронизация.

---

[1] В силу симметрии четные гармоники в спектре отсутствуют

4.5. Динамика биохимических процессов в клетке и ее связь с биоритмами

В процессе жизнедеятельности в организме происходит непрерывная трансформация материи и энергии. Тем не менее эти изменения не приводят к нарушению динамического равновесия, поскольку преобразования носят, циклический характер с весьма устойчивым периодом. В настоящее время они известны под названием биоритмов. Большинство из них упоминается в трактатах древнекитайской медицины. Под ними понимаются циклы различной длительности: 12-летние, годовые, месячные (связанные с периодом обращения луны), суточные активности (пассивности) отдельных органов, околочасовые (от получаса до нескольких часов) и т.д. С последними связаны такие явления в организме, как изменение размеров и массы клетки, ферментативная активность, проницаемость мембран, электрическая активность, период синтеза белка и др. Четкого представления о причинах цикличности до сих пор не сформировано. Однако многообразие связанных с ними явлений наводит на мысль о единстве их природы.

При исследовании влияния электромагнитного излучения на процессы адаптивного роста в первых же публикациях было отмечено, что оптимальное время непрерывного воздействия на организм укладывается в околочасовой цикл. Существенно, что представление о природе такой периодичности согласуется с излагаемым здесь представлением. Оно связано с образованием на мембранах сгустков белковых молекул, которые подтягиваются к ним из близлежащих областей цитоплазмы. Чем больше молекул в подструктурах, тем интенсивнее генерация колебаний в мембране. Усиление генерации связано с увеличением числа притягиваемых из цитоплазмы молекул. Очевидно, что число последних небезгранично. Убыль белковых молекул, имеющих определенные резонансные частоты, вызывает обеднение прилегающего к мембране слоя цитоплазмы. Это, в свою очередь, интенсифицирует биохимические процессы, связанные с формированием новых молекул с соответствующими частотами генерации. Поскольку период синтеза белка близок к одному часу, время компенсации убыли белковых молекул из цитоплазмы должно иметь ту же величину: за это время цитоплазма возвращается в исходное состояние.

Таким образом, скорость формирования подструктур, определяющая время устранения деформации, связана с восполнением числа белковых молекул с резонансными частотами патологии и обладающих определенными биохимическими свойствами. Восполнение убыли молекул соответствует околочасовому биоритму.

Из этого следуют очевидные пути интенсификации процесса выздоровления: для ускорения адаптации необходимо инжектировать в клетку биохимические препараты, обеспечивающие восполнение молекул с соответствующими резонансными частотами.

Такое представление крайне важно для понимания возможного механизма возникновения неспецифической резистивности организма. Действительно, под действием внешнего электромагнитного излучения на мембране здоровой клетки образуются подструктуры. Формирующие их молекулы с дипольными колебаниями, соответствующими частоте внешнего воздействия, имеют определенный набор биохимических свойств. Отток молекул из цитоплазмы стимулирует их производство клеткой. После прекращения воздействия и расформирования подструктур число этих молекул в клетке может значительно превысить норму. Избыток, по-видимому, и играет роль "стратегического резерва", который немедленно используется организмом при неблагоприятных изменениях внешних условий.

4.6. Образное восприятие внутриклеточной информации Природа полилечебного воздействия ЭМИ

Функционирование сложных, в первую очередь, автономных структур во многом связано со способностью эффективной передачи и обработки информации системами, управляющими их защитными функциями. Скорость и объем обрабатываемой информации в значительной мере зависят от способа ее восприятия и обработки. Известно, что наиболее эффективно образное восприятие информации. Например, человеческий глаз, обладая большим числом чувствительных элементов (порядка

250 млн.), создает в мозгу представление об объекте, достаточное для мысленного манипулирования в виде единого образа. Это, в свою очередь, позволяет организму адекватно реагировать на объект, подключая для этого периферические органы.

Известно также, что человеческий мозг включает $10^9...10^{10}$ клеток, что на 4...5 порядков меньше числа клеток организма. При этом возможность образного восприятия информации, так же как и управления процессами в каждой из них мало вероятны. Учитывая сложность процессов, происходящих в клетке, очевидно, что управление внутриклеточными процессами (по крайней мере на начальном этапе адаптации) осуществляется самой клеткой. Возникает вопрос: является ли восприятие клеткой информации о патологии образным?

Выше отмечалось, что функциональные нарушения в организме сопровождаются резкими искажениями формы клеточной мембраны, что приводит к выборочной генерации собственных колебаний. Форма, размеры и место появления искажений однозначно связаны с частотой, интенсивностью и распределением поля возбуждаемой акустоэлектрической волны. Другими словами, информация о патологии кодируется в частоте, амплитуде и типе волн. Эти характеристики определяют место адгезии, число и характеристики белковых молекул, направляемых к мембране для устранения искажения, т.е. осуществляют управление процессом адаптивного роста. Такой набор информационных элементов дает полное представление о патологии и может считаться образным.

При резких деформациях мембраны размеры белковых сгустков становятся столь значительными, что вызывают преобразование акустоэлектрических волн в электромагнитные и излучение последних в окружающее пространство. С излучением связана синхронизация колебаний, генерируемых соседними клетками, и образование синхронно колеблющихся клеточных ансамблей. Взаимная синхронизация колебаний клеток в таких ансамблях в некотором смысле равносильна воздействию внешнего излучения ускоряющего адаптационные процессы. Информация о патологии кодируется в частоте излучаемого клеткой сигнала. Этого оказывается вполне достаточно для получения "помощи" от соседних клеток и ускорения процесса адаптации.

Частотный принцип кодирования информации о патологии имеет важное значение для объяснения факта многоцелевого воздействия внешнего изучения. Действительно, полилечебный эффект КВЧ-воздействия наблюдался уже на начальных стадиях исследований: обнаружено, что с устранением патологии, на которую был ориентирован процесс лечения, одновременно могут быть устранены и другие заболевания. Это естественно вызывало недоумение и потребовало многочисленных проверок. В рамках обсуждаемой модели механизм полилечебного эффекта становится очевидным. Пусть мембрана содержит несколько деформаций, вызванных различными заболеваниями. Если параметры деформаций, включая размеры периметра мембраны в местах их расположения, близки, то собственные колебания имеют близкие резонансные частоты. При этом внешнее воздействие на их общей частоте приводит к возникновению независимых колебаний в различных частях мембраны. Поскольку место расположения деформации на мембране (относительно органойдов клетки) определяет характер биологических процессов в клетке, последствия возникновения генерации в различных областях мембраны могут быть совершенно непохожи друг на друга. Таким образом, если различные по характеру органические нарушения имеют близкий спектр генерируемых частот, то воздействие на клетку внешнего электромагнитного излучения с таким же спектром приводит к устранению всех этих заболеваний. Причем последовательность устранения зависит от степени нарушений и определяется самой клеткой.

4.7. Процесс формирования белковых подструктур Старение организма как радиофизическая категория

Рассмотрим весь процесс в целом. В результате заболевания организма произошли резкие локальные изменения формы липидной мембраны клетки. В местах наиболее сильной деформации мембраны

изменяется плотность упаковки липидных молекул мембраны, возникает градиент поля поляризации. Под действием поля к этим местам стягиваются белковые молекулы, расположенные непосредственно на мембране. Передавая свою кинетическую энергию мембране, они способствуют восстановлению ее изначальной формы. Образующиеся при этом белковые сгустки обеспечивают выделение из шумового спектра набора когерентных колебаний, частота (длина волны) которых определяется структурой (периодом) расположения сгустков. По мере формирования сгустков происходит усиление колебаний и проникновение поля в цитоплазму.

Под действием поля синхронизируются колебания белковых молекул с близкими им по частоте собственными дипольными колебаниями. Эти молекулы притягиваются из близлежащих областей цитоплазмы и направляются к местам наибольшей деформации мембраны. В результате белковые сгустки образует как бы систему фазированных излучателей или элементарных генераторов в единой линии передачи. С увеличением числа молекул амплитуда и добротность колебаний возрастают, что, в свою очередь, приводит к усилению поля и притяжению молекул из более удаленных областей цитоплазмы.

Ограничение мощности генерации и даже ее некоторый спад связаны с обеднением близлежащих слоев цитоплазмы белковыми молекулами с частотой дипольных колебаний. Установление стационарного режима генерации связано с образованием новых белковых молекул (в том числе молекул с требуемой частотой дипольных колебаний).

По мере восстановления формы мембраны силы притяжения белковых молекул ослабевают. Добротность колебаний падает. Под действием броуновских сил белковые подструктуры расформировываются: молекулы возвращаются обратно в цитоплазму.

При сильных деформациях полного расформирования белковых сгустков не происходит: они остаются на мембране, нарушая ее однородность. С появлением новой патологии эти сгустки препятствуют образованию соответствующих ей подструктур: подобно неоднородностям в резонаторе они снижают добротность возбуждаемых колебаний. В

результате процесс образования подструктур замедляется: для него требуется больше энергии, которую организм, например, ослабленный перенесенными ранее заболеваниями, уже не может обеспечить в требуемых количествах. Это приводит к еще большему истощению организма. Таким образом, накопление не расформировавшихся белковых сгустков мембраной клетки определяет степень "износа" организма, его старость.

4.8. Роль и место радиофизического механизма в процессе адаптации

При рассмотрении гипотезы о механизме КВЧ-воздействия (см. разд. 2.4) отмечалось, что в настоящее время существуют и другие его модели. Их авторы, как правило, - представители больших научных коллективов, ведущих исследовательскую работу в этом направлении. Предлагаемые ими модели (например, [13, 14]) отражают специфику их научной деятельности (биофизика, биохимия, нейрофизиология и т.д.). Не подлежит сомнению, что полученные ими результаты имеют большое научное значение.

Что касается рассматриваемой здесь модели, условно называемой радиофизической, то за ее рамками остаются такие важные составляющие механизма адаптации, как, например, изменение ионного и молекулярного транспорта через мембрану, микротепловые эффекты возмущенной клетки, структурно резонансные явления в кожном покрове и многие другие. Нет сомнений в их значимости для восстановления гомеостаза. В то же время следует подчеркнуть, что процесс восстановления - многоуровневый. Для простоты его можно рассматривать как многозвенную цепь явлений. В этой цепи радиофизические процессы занимают место, близкое к первопричине нарушения. Другие, в частности, упомянутые здесь, играют роль последующих звеньев.

Возможность влияния на первые звенья этой цепи безусловно расширяет возможности лечебного воздействия, делая его более эффективным и разносторонним, хотя устранить причины патологии можно и другим способом, например, с помощью

мадикаментозных средств, в состав которых входят белки с соответствующими резонансными частотами.

5. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ И МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ

Нормальное функционирование такой сложной системы, как живой организм, невозможно без оперативной передачи информации. При значительных функциональных отклонениях в восстановлении гомеостаза принимают участие различные органы, а координация их деятельности осуществляется через каналы центральной нервной системы. Напротив, для устранения патологии локального характера может оказаться вполне достаточным взаимодействие относительно небольшого числа близлежащих клеток. В обоих случаях первый этап восстановления связан с информационным взаимодействием между клетками. Современный уровень знаний не дает полной биофизической картины явления. Допуская радиофизический характер механизма адаптации в самой клетке, по крайней мере на его начальном этапе, естественно предположить, что ту же природу имеет и механизм межклеточного информационного обмена. Ниже обсуждаются возможные модели этого механизма при взаимодействии клеток как в ближайшем к источнику патологии окружении, так и на значительных расстояниях от него в сложных многоклеточных организмах.

5.1. Межклеточное взаимодействие

При незначительных нарушениях, когда условия существования (питание, дыхание, температура и т.д.) не сильно отличаются от нормы, адаптационные процессы в основном ограничиваются пределами клетки. Если степень нарушений велика и вызванные ею деформации мембраны значительны, часть генерируемой клеткой энергии излучается во внешнее пространство. Структурно это связано со следующим:

белковые сгустки образуются не только на внутренней, но и на внешней поверхности мембран;

образуемая сгустками структура (квазипериодическая с шагом, близким по величине Λ) обеспечивает генерацию акустоэлектрических колебаний и их преобразование в электромагнитное излучение той же частоты.

Напомним, что при этом длины электромагнитной и акустоэлектрической волн различаются на шесть

порядков. В силу взаимности эффективная реакция на внешнее излучение связана со значительными отклонениями от нормы условий функционирования.

Передача информации с помощью электромагнитных волн, длина которых на три порядка больше размеров клетки, должна обеспечивать единообразие сигналов, воспринимаемых другими клетками в достаточно большой окрестности, в которой можно ожидать подобия изменения условий существования.

В силу различия условий развития и индивидуальных особенностей функционирования каждая клетка может содержать на своих мембранах значительное число различных искажений. Их резонансы могут оказаться близкими или совпадать. Внешний сигнал на одной из общих частот способствует ускорению ликвидации каждого из этих искажений. Причем, сначала устраняется наиболее резкая из них, поскольку связанная с ней белковая подструктура притягивает большее число молекул, затем менее резкая и т.д. Таким образом, автоматически устанавливается приоритетная последовательность мер устранения деформаций, отвечающая индивидуальным особенностям клетки. Для различных клеток эта последовательность может быть различной.

В этой связи представляет интерес оценка самого процесса управления клеточных ансамблей с позиций теории рационального управления. В данном случае под управляемой системой понимается совокупность связанных между собой однотипных, но, обладающих индивидуальными особенностями автономно функционирующих структур. Любые процессы, не связанные с внешним воздействием, регулируются каждой структурой в соответствии с особенностями ее внутреннего состояния. Внешнее управление сводится лишь к уведомлению структур о необходимости исполнения директивы, не навязывая им однозначного способа ее выполнения. При такой организации управления обеспечивается наибольшая точность и экономичность исполнения.

Применительно к клеточным ансамблям это означает, что извне, например, от других, возможно удаленных от них клеток, должно поступать сообщение о проявлении неблагоприятных факторов, требующих приспособления всех клеток к новым условиям функционирования. При этом из всех составляющих образа патологии (частота, амплитуда, тип колебания) для обеспечения условий оптимального управления

клеточной системой достаточна частотная составляющая.

Таким образом, процесс информационного обмена рационален как с позиций реализации (физического механизма), так и оптимальности организации адаптационных процессов для каждой особи популяции.

5.2. Управляющее взаимодействие в клеточных кооперациях

Простой кооперацией будем называть совокупность однотипных клеток, выполняющих одинаковые (близкие) функции, сложной - в которой клетки обладают единой генной структурой, но выполняющих разные функции (например, клеток разных органов).

С позиций информационной роли генерируемых клетками когерентных колебаний простая кооперация рассматривается как средство усиления сигнала управления, восстанавливающего гомеостаз входящих в нее клетки. Если по тем или иным причинам эффективность управления внутриклеточными процессами снижается (например, в результате ослабления, старения организма), восстановление временно утраченных функций может растянуться во времени. Для отдельной особи это может привести к расстройству функционирования и, даже, к ее гибели. В кооперации, включающей большое число сильно связанных по полю клеток, синхронизация клеточных полей способствует ускорению процесса адаптации популяции и, таким образом, не приводит к расстройству ее функционирования.

Иллюстрацией могут служить результаты исследований животных с ослабленной межклеточной связью, например, в результате старения организма. Склонность к новообразованиям у них оказывается значительно большей, чем у животных с сильным взаимодействием клеток.

Как правило, усиление взаимодействия сопровождается сближением клеток (рис.5.1). При этом излучающие белковые выступы (септы) на внешней поверхности мембран двух взаимодействующих клеток ориентируются друг относительно друга. По мере сближения клеток их септы соприкасаются, образуя некое подобие участка периодической связи двух линий передачи [15]. При дальнейшем сближении белковые выступы исчезают; между мембранами устанавливается

плотный контакт. Внешне область контакта напоминает участок распределенной связи линий передачи.

После соприкосновения происходит качественное изменение сил взаимодействия клеток, которые не ограничиваются связью под действием когерентных волн. При попытке развести клетки после соприкосновения, их оболочки вытягиваются подобно надувным шарикам, оболочки которых смазаны липким маслом. Это говорит о резком возрастании сил соприкосновения по сравнению с силами дальнодействия. Усиление межклеточного взаимодействия способствует ускоренному устранению функциональных отклонений, т.е. повышению защитных функций отдельных особей кооперации.

Взаимодействие клеток сложной кооперации имеет, по-видимому, более глобальную функциональную направленность. Поскольку рост клеток, например, в процессе формирования организма, связан с высокой их функциональной, а значит и информационной, активностью. Есть основание полагать [1], что формирование тканей организма происходит под действием взаимовлияния их полей. Окончательная форма организма и его органов определяется некой электрической симметрией, выражающейся в прекращении излучения во внешнее пространство.

Вероятно, таков же механизм восстановления тканей после травм. С позиций биологии - это процесс восполнения выбывших из строя клеток при максимально возможной повторяемости структуры ткани. Так вот точность повторения типа и формы расположения соответствующих клеток обеспечивается полями когерентных волн окружающих клеток, сохранившихся не поврежденными после травмы. Несмотря на различие процессов роста организма и восстановления его после травм, они имеют единую природу.

5.3. Передача информационных сигналов на большие расстояния

КВЧ-воздействие может передаваться в организме на значительные расстояния (свойство дистантности). Возможность такой передачи широко используется при лечении, однако механизм ее мало изучен. Установлено, что использование средств анестезии резко снижает эффективность КВЧ-воздействия.

Предполагается, что передача осуществляется по каналам нервной и гуморальной (кровеносной и лимфатической) систем, а также системы точек акупунктуры.

Если для низкочастотных сигналов (в частности, нейроимпульсов) проводником является сердцевина нервного волокна - нейроплазма- то для КВЧ этот путь мало вероятен из-за высоких омических потерь. Предполагается, что направляющей структурой для КВЧ-сигнала служит оболочка нерва - многослойная миелиновая спираль. Миелины - разновидность липидов, обладающих как и мембрана клетки малыми потерями на КВЧ. Толщина одного слоя миелиновой спирали около 100 Å/# т.е. соизмерима с длиной акустоэлектрической волны L.

Особенность такой линии коммуникации в том, что толщина миелиновой оболочки вдоль нервного волокна непостоянна. В некоторых местах она резко уменьшается, образуя так называемые перехваты Ранвье. От границ этих областей распространяющаяся по оболочке акустоэлектрическая волна должна полностью отражаться. Исследования морфологии перехватов Ранвье показало, что при заболевании организма на их границах, также как и на мембранах клеток, образуются белковые сгустки - так называемые большие септированные контакты. Они вполне могут играть роль излучателей на концах миелиновой линии передачи: ретранслировать сигнал через перехват на следующий отрезок канала передачи. Перехваты Ранвье представляют собой как бы дополнительную ступень защиты от прохождения сигнала, исключая передачу ложного сообщения.

Возможность передачи информации внутри организма по каналам гуморальной системы связана с перемещением самого источника излучения - клеток крови или лимфы, генерирующих информационный сигнал. Перемещение даже весьма слабомощного излучателя обеспечивает, тем не менее, его взаимодействие с встречающимися на его пути потенциальными приемниками. Поскольку каналы гуморальной системы пронизывают весь организм, информация может переноситься на значительные расстояния.

В ряде работ (см. например, [16]) указывалось на возможность использования в качестве областей КВЧ-воздействия биологически активных точек (БАТ). Понятие БАТ связано с практически открытием для

Европы в середине прошлого столетия методов древнекитайской медицины, где они применяются более двух с половиной тысячелетий. В основу методов положено философское понятие жизненной энергии ЧИ. Она циркулирует по меридианам - каналам внутри человеческого тела - и имеют выходы на его поверхность. Эти выходы - точки - имеют строго анатомическое расположение и размеры от 1 до 3 мм в диаметре. Точки располагаются в подкожной клетчатке. По своим характеристикам они резко отличаются от окружающей их ткани: структура ткани более рыхлая, с большим количеством рецепторов, кровеносных и лимфотических сосудов, с повышенным содержанием биологическиактивных веществ, более низким электрическим сопротивлением, более высоким потенциалом и температурой.

Что касается меридиана, то его вещественная структура до сих пор не определена. Тем не менее относящиеся к нему точки обладают относительной однородностью возникающих в них эффектов. В классической древнекитайской медицине существует понятие 14 меридианов: 12 парных - по которым циркулирует энергия ЧИ, и 2 непарных - по которым энергия не передается. Каждый из энергетических меридианов связан с функционированием определенного органа или системы органов, например, сердца, легких, желудка, печени и т.д.

Лечение осуществляется раздражением ткани точек с помощью игол (акупунктура), массажа (акупрессура), прижигания (обычно полынными сигарами), втиранием в область точек лекарственных веществ и т.д.

В современной медицинской практике применяется электрическое и электромагнитное воздействия на БАТ. В КВЧ-терапии практикуется воздействие как на отдельную точку, так и одновременно на несколько БАТ (как правило, на симметричные). В то же время вопрос о возможном механизме воздействия, равно как и передачи информации по каналам БАТ, до сих пор остается открытым.

6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИММУНОЛОГИИ
(ГИПОТЕЗА ОБ ЭЛЕКТРОМАГНИНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИММУННОКОМПЕТЕНТНЫХ КЛЕТОК)

В предыдущих разделах определена роль полей КВЧ в механизме управления адаптационными процессами живого организма. Полагая, что механизмы защиты организма имеют единую природу, предпринимается попытка экстраполировать рассмотренные выше принципы на работу системы иммунной защиты. При таком подходе процессы в системе рассматриваются как результат взаимодействия когерентных полей элементов, принимающими участие в иммунных процессах. В этой постановке приобретают ясность основные моменты функционирования иммунной системы. В частности, с ее позиций удается дать простое физическое толкование остававшимся до сих пор до конца непонятыми механизмам распознавания своих и чужеродных тел, а также исключительной экономичности расходования организмом материальных средств и энергии в процессе гомеостаза.

6.1. Краткие сведения об иммунных процессах в организме

Иммунология - наука о механизмах (генетических, молекулярных, клеточных) защиты организмом наследуемых им свойств от живых тел и веществ, обладающие признаками генетической чужеродности. Живые тела и вещества, несущие генетическую информацию, называются *антигенами*. Они подразделяются на собственные, т.е. соответствующие данному организму, и чужеродные, если эта информация отлична от наследуемой им. Система защиты организмом своих индивидуальных наследуемых свойств называется *иммунной системой*. Для иммунной защиты от чужеродных антигенов организм синтезирует определенного вида белки, способные взаимодействовать с ними и называемые *антителами*.

Известны два основных вида защиты от чужеродного вторжения. Один из них - клеточный иммунный ответ, особенно эффективный против грибков, паразитов, раковых клеток и чужеродных тканей. Другой - гуморальный, осуществляемый через жидкие среды, эффективный против бактерий и вирусов. Действие обоих видов частично перекрывается. Они обеспечиваются в основном двумя классами клеток, называемыми

лимфоцитами: Т-лимфоциты обеспечивают клеточный иммунный ответ, а В-лимфоциты - гуморальный.

Значительную роль в процессе защиты играют *макрофаги*. Эти клетки, благодаря своей высокой активности и существенно большим размерам способны к захвату и перевариванию бактерий, остатков погибших клеток и других чужеродных частиц. Антитела и макрофаги играют основную роль в защитных процессах, хотя в них принимают участие и другие клетки (характер их действия здесь не рассматривается).

Биологическая схема клеточного и гуморального ответов представлена на рис 6.1. После появления чужеродных антигенов Т- и В-лимфоциты вырабатывают антитела, которые, в случае В-лимфоцитов, отделяются от них, а в случае Т-лимфоцитов не теряют связи с вырабатывающей их клеткой. Антитела взаимодействуют с чужеродными антигенами, вызывая разрушение (*элиминацию*) последних.

В отличие от лимфоцитов действие макрофага не направлено на какой-либо определенный антиген. Макрофаг всегда активен и может захватить любой чужеродный антиген без участия других клеток иммунной системы. Такое явление называется фагоцитозом.

Важно, что действие ни одной из иммуннокомпетентных клеток не направлено против собственных антигенов. Это явление известно под названием *толерантности* - терпимости к собственным антигенам.

Очевидно, что иммуннокомпетентные клетки обладают способностью распознавания своих и чужих антигенов. За это отвечают молекулы главного комплекса гистосовместимости (от греч. histos - ткань), так называемые МНС, обладающие стабильностью генетических свойств индивидуума.

Общее число антител, необходимое для защиты от любых чужеродных антигенов, исчисляется миллиардами. Поскольку содержание "прозапас" такого их количества обременительно для любого организма, предполагалось, что нужные антитела синтезируются им в каждом конкретном случае чужеродного воздействия. Исследования в этой области (Сусуме Токэнава. Япония. Нобелевская премия 1987 г.) показали, что формирование антител является результатом так называемой соматической рекомбинацией - объединения некоторого числа генов из общего относительно небольшого (порядка 100 тыс.) числа. При этом общее

количество возможных комбинаций огромно и достаточно для синтеза необходимого числа и разнообразия антител.

До сих пор нет четкого представления о механизме синтеза антител. Установлено лишь, что формирование антител начинается только после встречи клеток иммунной системы с чужеродным антигеном. Следовательно, для начала выработки антител необходимо, чтобы чужеродные антигены оказали некоторое воздействие на лимфоциты. Такое первичное воздействие происходит с участием макрофагов, располагающихся на пути проникновения антигенов в организм. Макрофаги захватывают и поглощают их, перерабатывая на ферменты. Однако на поверхности макрофагов сохраняется некоторое количество иммунного материала чужеродных антигенов, который передается (презентуется) лимфоцитам. Этот материал осаждается на поверхности плазмотической (внешней) мембраны лимфоцитов, вызывая их активацию. На плазмотической мембране лимфоцита он взаимодействует (*ассоциируется*) с молекулами главного комплекса гистосовместимости - хранителями иммунной информации. Презентованные лимфоциты вырабатывают антитела, способствующие элиминации чужеродного антигена. Такова весьма упрощенная биологическая схема действия лимфотической системы. Что касается механизма ее функционирования, то эта проблема остается пока открытой.

6.2. Механизм формирования антител

Начнем с предположения, что, как и в системе адаптивного роста, клетки иммунной системы обладают собственным спектром колебаний и способны воспринимать спектры антигенов. Предпосылки для этого существуют, поскольку большие электрические размеры клеток обеспечивают густой спектр их собственных колебаний с высокой добротностью его составляющих. Напомним, что причиной возникновения когерентных колебаний являются белки, адгезируемые к мембране, и имеющие собственный набор резонансных частот. Чужеродные белки имеют свой набор частот, отличный от собственных. Чтобы вырабатываемые организмом антитела могли взаимодействовать с чужеродными антигенами, они должна обладать сходными спектрами колебаний. Для воспроизводства антител с соответствующими характеристиками лимфоцитам должен быть передан

иммунный материал (белки) антигена. Высокая густота спектра лимфоцита упрощает синхронизацию его отдельных составляющих с колебаниями спектра белков антигена. Передача иммунного материала антигена вызывает генную перестройку лимфоцита, обеспечивающую синтез составляющих для воспроизводства антител.

Передача белков антигена лимфоцитам происходит в лимфатической системе организма, в частности, в лимфоузлах, где скапливаются все антигены. Здесь же имеются проходы, через которые лимфоциты попадают в венозную систему, а из нее через сердце - в артериальную и вновь в лимфатическую, где они снова взаимодействуют с антигенами и т.д.

Источником иммунного материала антигенов служат макрофаги. Они поглощают антигены, расщепляя их с помощью ферментов. Однако продукты переработки и остатки антигенов, оседающие на поверхности макрофагов, содержат достаточное количество иммунного материала, который презентуется лимфоцитам, вызывая их активацию.

Процесс активации, как и процесс адаптивного роста, связан с возбуждением когерентных колебаний, когда происходящие в клетке изменения приводят к нарушению ее нормального функционирования. Если адаптивный рост направлен на восстановление нарушенных тканей, то адаптация вызывает или ускоряет размножение клеток (полиферацию). Процесс адаптивного роста управляется собственными частотами клеток, общими для особей данного вида, иммунный ответ - индивидуальной частью спектра собственных частот этих особей.

Запуск иммунного ответа связан с передачей лимфоцитам белков чужеродных антигенов. При этом собственный спектр лимфоцита дополняется частотами антигена, а не подменяется ими. Это обусловлено тем, что лимфоциты взаимодействуют не только с чужеродными антигенами, но и с другими клетками, участвующими в иммунных процессах.

6.3. Восприятие организмом частотного спектра антигена

Густой спектр собственных колебаний лимфоцита обеспечивает условия формирования на его основе огромного разнообразия спектров. Это означает возможность полной синхронизация с колебаниями

внешнего источника излучения, например, чужеродной клетки. В то же время высокая добротность колебаний обеспечивает высокую избирательность по отношения к чужим спектрам.

Между клетками, в которых колебания синхронизированы, возникает взаимопритяжение (как, например, в изотоническом растворе, диэлектрическая проницаемость которого совпадает со средней проницаемостью клеток). С учетом распределения областей излучения различных частот по поверхности клетки и их связи с особенностями поверхности мембраны притяжение сопровождается строго определенной взаимной ориентацией клеток, обеспечивающей возможность их прочного сцепления. В иммунологии хорошо известно такое сцепление чужеродного антигена с лимфоцитом.

Взаимное притяжение, по-видимому, сопровождается повышением степени синхронизации, еще больше увеличивающей силу притяжения. Образование белковых подструктур начале и сближение клеток (вплоть до деформации мембран) - процесс, требующий времени. Это отвечает известному в иммунологии факту перехода от грубого соответствия свойств антител антигену, к тонкой его доводке. После доводки и начале расширенного воспроизводства антител ситуация сводится к рассматривавшейся выше биологической схеме рис.6.1.

Заметим, что механизмы притяжения для клеточных и гуморальных иммунных ответов различны. Резонансные свойств Т-лимфоцитов в совокупности с порожденными ими антителами (напомним, что АТ, синтезированные Т-лимфоцитами, остаются связанными с ними, образуя единую структуру) обеспечивают в клеточном иммунном ответе взаимопритяжение антител с антигенами, ассоциированными с лимфоцитом. Гуморальный ответ связан со взаимодействием отделившихся от В-лимфоцита антител (пассивных элементов) с активным антигеном, например, с живыми бактериями. Притяжение осуществляется за счет полей, генерируемых бактериями, поскольку энергия излучения бактерий, по-видимому, много больше энергии лимфоцитов. Весьма вероятно, что вид иммунного ответа определяется именно различием источников энергии, обеспечивающим взаимное притяжение клеток. Это позволяет организму экономить собственную энергию, если чужеродный антиген сам является источником излучения.

Такая интерпретация механизма взаимодействия позволяет объяснить неоднократно подтверждавшийся, но не находивший объяснения факт: одна клетка может производить антитела только одного вида. Действительно, генерация лимфоцитом спектра частот, необходимого для продуцирования антител, обеспечивается в результате формирования белковых подструктур. Для их расформирования и образования новых требуется значительное время и дополнительные затраты энергии.

С появлением первых лимфоцитов, способных формировать белки для воспроизводства антител, начинается (и это наблюдается повсеместно) экспоненциальный рост числа последних. После того, как необходимость их воспроизводства отпадет, силы притяжения белков к мембранам лимфоцитов ослабляются и подструктуры постепенно расформировываются под действием броуновских сил. Лимфоциты возвращаются к исходному состоянию, которое является устойчивым для данного организма.

При повторной агрессии чужеродных антител иммунный ответ оказывается более быстрым, поскольку расформирование подструктур - процедура достаточно длительная, особенно, если сохраняется пластическая деформация мембран иммуннокомпетентных клеток. Эксперименты показывают, что достройка подструктур на "старом основании" требует существенно меньшего времени. В данном случае очевидно прослеживается связь с действием вакцины на здоровый организм. Она фактически осуществляет тренинг иммунных клеток, формирующих белковые подструктуры, которые в случае агрессии на организм становятся фундаментом его защитных подструктур.

6.4. Взаимодействие антигенов с макрофагом. Принцип иммунной толерантности

Проанализируем силы взаимодействия макрофага с антигеном. Они подразделяются на силы взаимодействия между активными диполями макрофага и антигеном (или возбужденных на своих резонансных частотах пассивными диполями, которые ведут себя при взаимодействии аналогично активным), а также силы взаимодействия между активными диполями, наведенными ими в диэлектрических частицах (клетках, макромолекулах), не резонирующих на частотах, излучаемых активными

диполями. Обозначим диэлектрическую проницаемость частиц через ε_1, а окружающей их среды - ε_2. Результирующая сила взаимодействия F является суммой трех составляющих. Первая (F_1) определяется взаимодействием излучения макрофага с дипольными молекулами, наводимыми им в антигене, как в диэлектрической частице со средней диэлектрической проницаемостью ε_1. Если ε_2 - проницаемость среды, окружающей антиген, то F_1 пропорциональна разности проницаемостей (отрицательная величина разности соответствует расталкиванию частиц, положительная - взаимопритяжению; в изотоническом растворе ($\varepsilon_1=\varepsilon_2$) $F_1=0$), объему антигена и интенсивности излучения макрофага. С увеличением расстояния d величина F_1 быстро убывает [3]. При $d>10$ Е ($\varepsilon_1=\varepsilon_2$), $F=0$. Но при попадании антигена в окрестность липидного слоя плазмотической мембраны макрофага с $\varepsilon_1<<\varepsilon_2$, он притягивается к макрофагу с силой F.

Вторая составляющая (F_2) определяется взаимодействием излучения макрофага с активными диполями антигена или эквивалентными им по поведению диполями, наведенными излучением в резонансных структурах антигена. Объем этих структур (мембран, белковых молекул и др.) по сравнению с общим объемом антигена очень мал и не оказывает заметного влияния на ε_1 и F_1 . Но вследствие высокой добротности таких структур, величина F_2 оказывается значительной, если спектры резонансных частот антигена и макрофага совпадают. Составляющая F_2 является силой взаимопритяжения.

Взаимодействием излучения антигена с дипольными моментами, наводимыми им в макрофаге, как в диэлектрической частице со средней проницаемостью $e_{1м}$ определяется третья составляющая F_3. По своему характеру она подобна F_1 . Однако следует иметь в виду, что по своим размерам макрофаг гораздо больше антигена в основном за счет объема цитоплазмы, представляющей водносолевой раствор. Поэтому из-за значительного количества связанной воды $\varepsilon_{1м}<\varepsilon_2$ и $F_3=0$ даже, когда антиген находится в водной среде и действует как сила отталкивания.

Если к макрофагу приближается собственный антиген с совпадающим спектром частот, то амплитуды возбужденных в антигене колебаний будут значительными, также как и величина силы

расталкивания F_3 . При этом $F_2 << F_3$ и результирующая сила не позволит собственному антигену приблизиться к безводной области вблизи липидного слоя плазмотической мембраны макрофага.

С приближением к чужеродному антигену в макрофаге возбуждаются колебания малой амплитуды. В случае гуморального ответа, когда чужеродный антиген активен (бактерия), пока он находится в водной среде ($\varepsilon_1=\varepsilon_2$), компоненты F_1 - F_3 малы. При вхождении антигена в область $d<10$Å, где $\varepsilon_1 << \varepsilon_2$, силы F_1 и F_3 становятся значительными и способствуют сближению антигена и макрофага. Частица оседает на мембране, втягивается в макрофаг и переваривается им.

Таким образом, для притяжения с последующей элиминацией чужеродного антигена, для собственных антигенов требуется только, чтобы спектр частот макрофага *не совпадал* с собственным спектром антигена. Каких-либо предварительных сведений о спектральных характеристиках чужеродного антигена не требуется.

С позиций рассматриваемого механизма иммунная толерантность сводится к тому, что поскольку макрофаг не поглощает собственных антигенов, они не могут презентовать свой иммунный материал лимфоцитам и собственный спектр лимфоцита не меняется. Если в организме появляются лимфоциты, порождающие антитела против собственных антигенов, т.е. отличающиеся от них по спектральным характеристикам, то для клеток иммунной системы они уже не отличаются от чужеродных и устраняются обычным путем.

Изложенный механизм базируется на явлениях генерации клетками когерентных колебаний, что вписывается в общую излагаемую здесь концепцию, и дает наглядное физическое толкование явлений, наблюдаемых в биологической практике. В то же время, такая постановка безусловно дискуссионна и требует дополнительной проработки.

7. КВЧ-ТЕРАПИЯ, ДИАГНОСТИКА, ПРОФИЛАКТИКА ПРИБОРЫ И МЕТОДИКИ

Применение КВЧ в медицине насчитывает уже более десятка лет. Существует терапевтическая аппаратура, разработаны приемы и методики воздействия. Лечение таких заболеваний, как язвенная болезнь желудка и 12-перстной кишки, можно считать методически и аппаратурно обеспеченными. Это подтверждает практика многих клиник бывшего Советского Союза и ряда зарубежных стран. Круг применения КВЧ-терапии постоянно расширяется, что, естественно, связано с разработкой новых аппаратурно-методических комплексов.

В настоящем разделе рассматриваются общие подходы и методы КВЧ-воздействия, проводится краткий обзор серийно выпускаемых в настоящее время КВЧ-аппаратов, обозначены основные области их использования, методики применения при работе над конкретными типами патологий, перспективы развития техники КВЧ-терапии и диагностики.

7.1. Пути устранения обратимых и необратимых функциональных нарушений организма

Воздействие КВЧ-излучения на живые организмы сводится к мобилизации собственных резервных возможностей организма. При этом в организм не вносится дополнительно каких-либо веществ или энергии. Очевидно, что стимуляция защитной деятельности целесообразна, если организм в силах самостоятельно справиться с болезнью. Когда же энергетические возможности исчерпаны, активизация защитных процессов (для реализации которых у него не осталось сил) может привести к его истощению и даже к гибели. В частности, это касается поздних стадий онкологических заболеваний, когда необратимым изменениям (перерождением живой ткани) оказываются охвачены значительные области тела. При этом КВЧ-воздействие на целостный организм может привести к ослаблению и, таким образом, к усугублению его состояния [18].

Для приостановки процесса перерождения, кроме хирургического вмешательства, широко используется ионизирующее облучение и химиотерапия. К сожалению,

их применение нередко сопровождается нежелательными побочными явлениями, например, отравлением продуктами распада. Побочное действие вводимых препаратов может быть существенно снижено или полностью исключено, если их использовать совместно с КВЧ-облучением. Кроме того, облучение способствует подавлению процессов метастазирования (распространения онкологических процессов на другие, еще не затронутые болезнью области).

При необратимых нарушениях широко применяется пересадка тканей, в частности, костного мозга. И в этом случае КВЧ-воздействие оказывается весьма продуктивным. Дело в том, что поскольку действие КВЧ проявляется на клеточном уровне, его мобилизующее влияние может использоваться для активации отдельных вносимых в организм донорских тканей. При этом активация имплантанта (путем облучения отдельных тканей или в составе целостного организма донора) проводится предварительно перед пересадкой в больной организм.

В зависимости от характера нарушения используются различные пути применения КВЧ. Условно их можно разделить на четыре типа.

1. Нарушения функционального характера, при которых КВЧ-воздействие стимулирует процессы адаптивного роста. Этот путь изучен наиболее подробно. Установлено, что несмотря на индивидуальные особенности организма, спектр частот активации клетки для конкретных процессов адаптивного роста у особей одного вида оказываются весьма близкими (практически совпадают). В случае известных нарушений (их перечень постоянно расширяется) лечение проводится на фиксированной частоте с помощью серийно выпускаемой КВЧ-аппаратуры. В более общем случае определение частоты патологии требует применения диагностической аппаратуры. Некоторые методы диагностики рассмотрены ниже. Для ускорения процессов адаптации применяются также КВЧ-приборы с широким спектром излучения: шумовые и сканирующие. При общем стабильном состоянии организм самостоятельно выбирает сигнал требуемой ему частоты.

2. При лечении иммунных отклонений в общем случае необходимо знать по крайней мере основные составляющие спектра резонансных частот, определяемые индивидуальными (наследственными) особенностями организма. Эффективность КВЧ-

воздействия на конкретный вид антигена определяется возможностью точной настройки на эти частоты (с помощью методов КВЧ-диагностики).

При онкологических заболеваниях злокачественные клетки воспринимаются иммунной системой как чужеродные. Это связано с их перерождением и, как следствие, изменением спектра индивидуальных частот. Зарегистрированная в некоторых случаях нормализация опухолевых образований позволяет говорить о принципиальных возможностях подбора частоты антигенов и, таким образом, интенсификации производства организмом защитных антител. Исследовательские работы в этом направлении продолжаются.

3. На ранних стадиях заболеваний, когда иммунная система организма еще способна самостоятельно приостановить процесс (например, предотвратить появление новообразований при онкологических заболеваниях), КВЧ-воздействие позволяет активизировать деятельность клеток иммунной системы. Для этого достаточно воздействие на некоторых общих для данного вида частотах (а не индивидуальных для конкретного антигена, как в случае п.2). Что касается механизма активации, то изменение активности клеток иммунной системы происходит, по-видимому, при любых восстановительных процессах независимо от того, какой орган поврежден. При этом любая поврежденная клетка с нарушенной генетической информацией воспринимается иммунной системой организма как чужеродный антиген. В то же время, иммунный ответ на незначительные отклонения (близкие антигены) может быть одинаковым. Так, прививка оспы у крупного рогатого скота предотвращает заболевание черной оспой. Если процесс перерождения клеток еще не принял необратимый характер, механизм КВЧ-воздействия аналогичен воздействию при адаптивном росте как в принципе, так и по спектральному составу.

4. Применение КВЧ совместно с методами, разрушающими необратимо измененные ткани, и активация вводимых в больной организм донорских тканей. Радикальные средства (хирургия, ионизирующие излучения, химиотерапия) сами по себе ослабляют организм, отнимают силы для борьбы с заболеванием, что может привести к побочным эффектам. При этом непосредственное КВЧ-воздействия на организм больного малоэффективно, а в ряде случаев

губительно. Проблема снимается при воздействии на донорские ткани, не подвергавшиеся воздействиям лечебных препаратов. Так, активация костного мозга на длине волны 7,1 мм перед пересадкой его мышам, получившим летальную дозу гамма-излучения, позволила сохранить их нормальное функционирование в течение всего жизненного цикла, в то время как период жизни животных с не активированным КВЧ костным мозгом сократился в 10...15 раз.

7.2. Приборы КВЧ-терапии

При нарушении нормального функционирования клетки возникают условия для выделения из ее общего шумового спектра преимущественной генерации и излучения колебаний в некоторых относительно узких полосах частот. Такой режим весьма напоминает работу резонансных регенеративных усилителей - усилителей с глубокой обратной связью, переходящих в режим возбуждения в узких частотных областях при поступлении на его вход даже весьма слабых шумовых сигналов. Возбуждение имеет место, если узкополосный (в идеале, монохроматический) входной сигнал попадает в полосу пропускания усилителя. Чем ближе резонансные частоты сигнала и усилителя, тем меньшая амплитуда сигнала достаточна для возбуждения усилителя: режим генерации становится более экономичным. В этом отношении механизмы генерации живой клетки и регенеративного усилителя идентичны.

В резонансной системе клетки амрлитуда и ширина спектра колебаний прямо зависят от степени сформированности белковой подструктуры. По мере формирования подструктуры спектр сужается, а амплитуда растет. Скорость формирования подструктур зависит от энергетических возможностей организма: скорость процесса тем ниже, чем слабее организм.

Внешнее воздействие на частоте патологии позволяет сократить время выхода клетки на требуемую частоту генерации, способствует ускорению формирования подструктур и, таким образом, активизации деятельности защитных функций организма. В этом состоит биологический смысл КВЧ-терапии.

Эффективность воздействия на больной организм внешним когерентным сигналом зависит от точности нахождения частоты патологии. Для этого используются сенсорная реакция организма, данные кордио- и энцефалограммы, КВЧ анализ клеток крови,

электропунктурные измерения и т.п. Не вдаваясь в подробности этих методов, заметим, что резонансная частота может быть найдена не всегда.

Из описания процесса формирования белковых подструктур следует, что его стимулированию может способствовать также шумовой сигнал, подводящий систему к порогу самовозбуждения и ускоряющий построение подструктур. При этом выход на требуемую частоту осуществляется самим организмом, который (при наличии сил и возможностей) выбирает соответствующую полосу в спектре шума.

Шумовой метода лечения прост и дешев, не требует настройки на частоту патологии. Это относится как к шумовым приборам, так и к приборам со свипированием частоты (см.разд.7.5), причем скорость качания частоты определяется временем запоминания клеткой внешнего воздействия.

Применение приборов с широким спектром воздействия не всегда показано. Они не применяются при лечении организмов с общим низким энергетическим потенциалом: старых или ослабленных болезнью. В таких случаях процесс формирования подструктур протекает медленно. Спектр воспринимаемых частот весьма широк и выделение нужного сигнала для ускорения адаптации затруднено. При этом шумовое КВЧ-воздействие может привести к образованию подструктур, не отвечающих характеру нарушений: к "засорению" мембраны белковыми молекулами с резонансными частотами, не соответствующими частоте патологии.

Применение широкополосных КВЧ-приборов ограничивается терапевтическим воздействием - профилактическое использование его исключается. Это связано с тем, что для профилактики, т.е. подготовки клетки к неблагоприятным условиям, необходимо чтобы на невозмущенной мембране клетки были сформированы белковые подструктуры, обеспечивающие генерацию колебаний определенного типа. Достройке подструктуры (если она сформирована примерно наполовину) в несильно ослабленном организме может способствовать внешний сигнал, расстроенный относительно частоты патологии до 10%. Преимущества широкополосного воздействия компенсируются преобразованием частоты самим организмом.

Для ослабленных организмов, способных самостоятельно сформировать подструктуру менее, чем

на половину той величины, когда возможна самогенерация, полоса "захвата" частоты внешнего сигнала сокращается и в пределе сводится к половине ширины резонансной полосы мембраны. Эффективность лечения определяется соответствием частоты облучающего сигнала частоте патологии, т.е., фактически, уровнем диагностической КВЧ-аппаратуры.

7.3. О единстве и взаимосвязи воздействия КВЧ- и лазерного излучения малой мощности на живые организмы

Вопрос об адекватности воздействия волн КВЧ, инфракрасного, оптического и ультрафиолетового излучений на живой организм выходит за рамки абстракции. Его постановка связана с результатами многочисленных экспериментальных исследований, подтверждающих информационно-управляющий характер воздействия: наличие острорезонансного биологического отклика, энергетическая функция которого имеет общую пороговую зависимость при нетепловых энергетических уровнях воздействия. Это подтверждает, что устойчивое функционирование сложных многоклеточных организмов возможно только при наличии высокоразвитой и весьма экономичной системы управления, работающей на частотах указанных диапазонов.

Остановимся на так называемой лазерной терапии. Участие когерентных волн инфракрасного диапазона в восстановлении гомеостаза до сих пор никем не обнаружено.

В ультрафиолетовом диапазоне зарегистрирована многорезонансная реакция организмов на облучение, связанная с характером нарушений. Также, как и на КВЧ, ультрафиолетовое облучение способствует ускорению протекания адаптационных процессов в организме. В медицинской практике широко применяются гелий-неоновые лазеры. Также, как и КВЧ-приборы, они успешно используются для лечения язв желудка и 12-перстной кишки, трофических язв, стенокардии и др. Практически те же результаты получены в диапазоне видимого света. В отмечается "панацейность"[1*] их

[1] * По имени др.греч. богини Панакии (Panakeia - всеисцеляющая); в переносном смысле - лекарство от всех болезней.

действия на резонансных частотах в широком спектре биологического действия.

Воздействие полей этих диапазонов аналогично даже в деталях. Так, при медикаментозном лечении язв желудка и 12-перстной кишки образуются грубые рубцы, являющиеся одним из факторов возможных рецедивов заболевания. При КВЧ и лазерной терапии рубцов не образуется. Во многом аналогичны результаты и при лечении стенокардии.

Генерация когерентных волн инфракрасного диапазона является, по-видимому, естественным процессом жизнедеятельности клетки, не связанным с нарушением ее нормального функционирования. В отличие от него генерация волн КВЧ, светового и ультрафиолетового диапазонов, имеет место при значительных отклонениях от нормы и, как это было показано для КВЧ, осуществляет управление восстановительными процессами, возвращающими организм в нормальное состояние. Учитывая адекватность реакции на них живых организмов, можно предполагать взаимосвязь между ними.

Рассмотрим, насколько могут быть сопоставимы физические механизмы воздействия на организм излучений этих диапазонов. Отметим, что если клинические исследования результатов воздействия излучения этих диапазонов на живой организм в современной литературе представлены достаточно подробно, то о физике воздействия этого сказать нельзя. Поэтому проводимый ниже анализ | 1 | носит лишь качественный характер.

К оптическому принято относить диапазон от $3*10^3$ до $1.67*10^6$ ГГц: к инфракрасному – $3*10^3...3.9*10^4$ ГГц; видимый свет – $4*10^4...7.5*10^5$ ГГц и ультрафиолетовый – $7.5*10^5...1.6*10^6$ ГГц. В длинах волн это соответствует: инфракрасный – 0.77...100 мкм; видимый свет – 0.4...0.76 мкм; ультрафиолетовый – 0.18...0.4 мкм. Поскольку диаметр клеток составляет в среднем 5 мкм, в ультрафиолетовом и видимом световом диапазонах размеры ее больше длины электромагнитной волны в свободном пространстве. Если по аналогии с акустоэлектрическими волнами в качестве направлячщей структуры рассматривать клеточную мембрану [1], то,

[1] В диапазоне лазерного излучения клеточная мембрана обладает свойствами жидкокристаллической структуры. Возмущение ее электронного состояния приводит к

например, в середине ультрафиолетового диапазона на ее периметре укладывается порядка 50 длин волн в свободном пространстве.

Что касается белковых молекул, являющихся источником автогенерации, то их длина составляет 4...20 нм и (при скорости распространения акустоэлектрической волны порядка нескольких сотен метров) резонансные частоты низших типов колебаний соответствуют КВЧ диапазону. С учетом свойств среды их электрические размеры могут вполне оказаться резонансными для электромагнитных волн средней и высокочастотной частей оптического диапазона особенно, если линейные размеры резонатора сложной формы могут быть примерно на порядок меньше длины волн [20]. Это может быть связано с локализацией запасенной энергии в каком-либо резервуаре (например, в емкости). В данном случае таким резервуаром, очевидно, могут служить области искажения формы белковых молекул: места возникновения упругих деформаций и взаимодействия электрических полей различных частей молекулы.

Неравномерность распределения электрических зарядов вдоль молекулы может способствовать возбуждению одновременно акустоэлектрических КВЧ-колебаний и колебаний ультрафиолетового диапазона, определяемых общей длиной молекулы. Возбуждение одновременно когерентных колебаний различных диапазонов, соотношение их частот и амплитуд зависит от конфигурации молекулы. Вполне возможно, что существующая форма молекул является оптимальной с этой точки зрения, как результат длительного эволюционного процесса.

Для обсуждаемой проблемы наибольший интерес представляют качественно различные условия приема и излучения клетками собственных волн. В КВЧ диапазоне размер клеток существенно мал по сравнению с λ, а плотность потока излучаемой ими энергии на

изменению состояния структуры, изменению pH среды, образованию продуктов фотолиза и т.п., что, в свою очередь, вызывает целый комплекс биохимических и биофизических процессов (в частности, усиление окислительных процессов, увеличение активности транспорта биологическиактивных веществ и т.д. [19]).

расстоянии не более $\lambda/4$ снижается на 12 порядков. К тому же это сопровождается потерей когерентности излучения, его стахостизацией. На фоне мощного теплового излучения организма такой сигнал выделить невозможно. Опыты по выявлению взаимодействия живых организмов через КВЧ-излучения дали отрицательные результаты.

В отличие от КВЧ, в диапазоне видимого света и ультрафиолетовом размеры клеток больше λ_0. Так, для клеток со средним диаметром 5 мкм на периметре плазмотической мембраны укладывается порядка 30 l_0, соответствующих границе видимого и ультрафиолетового диапазонов. Образующиеся на больной клетке белковые подструктуры могут достаточно эффективно формировать поток излучения на значительные расстояния при относительно малых затуханиях. Уровень стахостизации в отличие от КВЧ, по-видимому, существенно ниже и когерентность его сохраняется. Возможно именно с этим связано взаимное влияние живых организмов [21].

Последнее относится к так называемым дистантным межклеточным взаимодействиям биологических систем. Исследовалась связь двух одинаковых однородных биоструктур (два монослоя клеток, помещенных в закрытые сосуды, разделенные стеклянной или кварцевой перегородкой толщиной 0,2...2,0 мм). Одна из них подвергалась воздействию различных экстремальных агентов: физического (ионизирующего излучения); химического (двуокисная ртуть - сулема); биологического (чума птиц). Изменения (деградация) в структуре, подвергшейся воздействию, регистрировалась на различных стадиях вплоть до летального исхода. Связь с находящейся за перегородкой "зеркальной" структурой (не испытывающей непосредственного экстремального воздействия) допускалась лишь в определенном частотном диапазоне: КВЧ, инфракрасном, видимого света, или ультрафиолетовом. Обнаружено, что в "зеркальной" структуре имеют место те же эволюционные формы деградации, что и в зараженных, но с задержкой по времени до 6...13 час. Эффект наблюдался при наличии кварцевой перегородки между структурами, т.е. в ультрафиолетовой области спектра.

В результате исследований сформулировано положение об информационном воздействии биосистем, в котором первичным является сверхслабое

электромагнитное поле клеточных культур, источником и носителем которого служит клетка. Структура поля, порождаемая биохимическими процессами, постоянно управляет и направляет всю метаболическую деятельность клеток. В таком контексте, в клетке имеет место единство биохимической и полевой организации.

В заключение отметим, что для осуществления взаимодействия одной биоструктуры (монослоя клеток) с другой каждая из них должна отражать характерные особенности данной культуры. Другими словами, существует критическая масса клеток, при которой формируются характерные особенности конкретной биосистемы и соответствующего ей электромагнитного поля.

Результаты исследований позволяют предположить возможность практического использования связи диапазонов. Например, если терапевтическое КВЧ-воздействие оказывается более эффективным (в силу изложенных выше причин), то непосредственная КВЧ-диагностика живого организма, по крайней мере в настоящее время, фактически невозможна. Требуется разработка сверхчувствительных КВЧ-приемников, способных зафиксировать излучение клеток. В то же время, измерить излучение больных клеток в ультрафиолетовом диапазоне можно, например, с помощью фотоэлектронных умножителей.

7.4. Аппараты и устройства КВЧ-терапии

В настоящее время серийно выпускается, разработано и находится на различных стадиях готовности к производству более десятка наименеваний аппаратов для КВЧ-терапии. Рассмотрим некоторые из них с учетом особенностей их воздействия на живой организм.

Установка "Явь-1" (г.Фрязино Моск. обл.) - первый аппарат для КВЧ-терапии, разрешенный к применению и серийно выпускаемый в различных модификациях на предприятиях нашей страны. Аппарат обеспечивает генерацию сигнала на фиксированных частотах, соответствующих длинам волн 7.1 и 5.6 мм | 22 |. В качестве генератора используется лавинопролетный диод. Выходная мощность не более 10 мВт. Для облучения используется рупорная антенна. Выход на фиксированную рабочую частоту по эталонному резонатору осуществляется с помощью варикапа.

Аппарат обеспечивает режимы непрерывной генеации и частотной модуляции в полосе 50...100 МГц. В настоящее время выпускается совместно с сервисной приставкой "Ясность", включающей таймер и устройство для установки режимов импульсной модуляции с частотой, близкой к частоте альфа-ритма.

Установка "Явь-103" (Киев, Украина)- малогабаритный облучатель с генератором на диоде Гана. Выпускается в трех модификациях, обеспечивающих облучение на одной из указанных выше длин волн. Работа на второй гармонике рабочей частоты генераторного диода в силу слабой связи с нагрузкой допускает отсутствие развязывающего устройства между антенной (рупором) и генератором. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить габариты и стоимость установки.

Серия аппаратов "Электроника-КВЧ" (Киев) [23] обеспечивает широкий спектр терапевтических приложений. Аппараты "Электроника-КВЧ 101 и 101м" работают на фиксированной длине волны 4.9 мм; выходная мощность - не более 5 мВт. "Электроника-КВЧ 102" имеет плавную механическую перестройку частоты в полосе 4...6 ГГц. "Электроника-КВЧ 103" - электрическую перестройку в полосе 2 ГГц. "Электроника-КВЧ 104" име9ет в комплекте две генераторных головки, осуществляющих одновременное воздействие на различные области тела в режимах совместной или автономной работы каждого канала. "Электроника-КВЧ 101Ш" - источник сверхнизкоинтенсивного шумового излучения в полосе частот до 6 ГГц. В аппаратный комплекс "Электроника-КВЧ 1001" входят четыре сменных генераторных блока: три - для работы на фиксированных длинах волн, а четвертый - в режиме шумового сигнала.

К классу приборов когерентного воздействия относятся аппараты "Ария" (Харьков), в котором перестройка рабочей частоты обеспечивается в полосе 54...79 ГГц [24], "Артсах-01,02,03" (Аштарак, Армения) [25]с перестройкой в полосе 25...120 ГГц. Приборы типа "Дека" (Томск), "Инициация" (С.-Петербург), "Аленушка" (Киев) предназначены для работы на одной или двух фиксированных несущих частотах. Механическая перестройка частоты предусмотрена в "Аштарак", широкополосный шумовой сигнал - в "Артсах" (разработка предприятия Аштарак).

В аппаратах с автоматической перестройкой частоты типа "АМРТ-01 и 02" (Харьков) обеспечивается сканирование в полосе 2...6 ГГц. Кроме сканирования возможна ручная перестройка по диапазону при генерации в относительно узкой частотной полосе. Как и у монохроматических КВЧ-приборов эффективность их применения зависит от правильности определения частоты патологии.

Перечисленные аппараты в качестве облучателей используются рупорные или диэлектрические антенны, с площадью облучения от одного до нескольких квадратных сантиметров и предназначаются для воздействия на зоны Захарьина-Геда, Подшебякина, и области больших суставов, отдельные биологически активные точки. Исследования последних лет показали, что в ряде случаев весьма эффективным оказывается воздействие одновременно на несколько биологическиактивных точек. В разработанном для этих целей устройстве (МЭИ) [26] использован делитель мощности и фидеры на гибких диэлектрических волноводах с аппликаторами на торцах каждого из выходных плеч.

Аппликатор представляет собой согласованный переход с диэлектрического на круглый металлический волновод с диэлектрическим заполнением и устройство крепления его на точке в любом месте на теле пациента. Диэлектрическое заполнение позволяет уменьшить размер области облучения. Это необходимо, например, при облучении точек ушной раковины, диаметр которых (1...1.5мм) соизмерим с расстоянием до соседних биологическиактивных точек. Специальные переходы обеспечивают возможность установки устройства на любом из перечисленных КВЧ-аппаратов, что позволяет существенно расширить его функциональные возможности.

7.5. Методы КВЧ-диагностики

По определению, диагностика - это установление области, причин, иногда стадии заболевания. Понятие КВЧ-диагностика используется в несколько ином смысле. Выше подчеркивалось, что роль КВЧ сводится лишь к коррекции работы защитной системы организма, активации ее деятельности. Патологические изменения в клетках больного организма автоматически определяют частоту генерации, т.е. частоту патологии. Фактически задача диагностики сводится к

нахождению этой частоты, для чего используются различные методы.

Среди них простейший и наиболее естественный - сенсорный - по ощущению самого пациента. В его основе - реакция организма пациента на изменение частоты воздействующего КВЧ-сигнала. С сенсорной реакцией связано свойство оленатальности (см. Введение), т.е. устранение болезненных ощущений и, в ряде случаев, переход их в приятные: слабое покалывание, ощущение легкого тепла или прохлады в больном органе. Например, при язвенной болезни желудка снимается боль и общее нервное напряжение, наступает расслабление, легкая сонливость и т.п.

Этот метод удобен и прост. К сожалению, сенсорная реакция характерна лишь для весьма ограниченного круга заболеваний и проявляется не у всех пациентов. Кроме того, погрешность настройки на частоту патологии с помощью этого метода велика из-за естественной задержки реакции живого организма.

В основе другого метода лежит индикация изменения потенциалов или проводимостей биологически активных точек (по системе доктора Фоля), отвечающих определенному органу или системе органов тела пациента.

Наиболее стабильные и объективные результаты дает КВЧ-анализ гуморальных агентов. Частота патологии фиксируется по резкому изменению их параметров, например, вязкости крови. Эта процедура занимает от 30 до 50 мин.

Метод диагностики заболевания на эффекте Кирлиан[3], не имеет непосредственного отношения к нахождению частоты патологии. Но аппаратурно он совмещен с рассмотренными ранее терапевтическими приборами "Артсах" и "Аштарак". Созданный на его основе диагностический прибор"Диана" вызывает свечение биологическиактивных точек на теле пациента. После снятия поля точки, соответствующие больному органу, продолжают светиться в течение 30...50 с. Соответствие этих точек определенному меридиану позволяет установить орган, функции которого подавлены.

---

[3] Свечение (в виде ореола) живого организма в высоковольтном поле высокой частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В**. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности.-М.:Радио и связь.1991 169 с.

2. **Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В**. Особенности медико-биологического применения миллиметровых волн. М.: Ротапринт ИРЭ РАН, 1994.164с.

3. **Вопросы** использования ЭМИ малой мощности крайневысоких частот (миллиметровых волн) в медицине /Под ред. Н.Д.Девяткова. Ижевск:"Удмуртия"1991.-212с.

4. **Радиофизические** аспекты использования в медицине энергетических и информационных воздействий электромагнитных колебаний. Н.Д.Девятков, Э.А.Гельвич, М.Б.Голант и др.//Электронная техника. Сер.Электроника СВЧ 1981, Вып.9(333).С.43-50.

5. **Применение** гипертермии при лечении злокачественных опухолей /Н.И.Александров, Н.Е.Савченко, С.В.Фрадкин, Э.А.Жаврид.-М.:Медицина.1980.

6. **Аппараты** для гипертермии/Э.А.Гельвич, И.Б.Давыдова, А.Д.Девятков и др.//Электронная промышленность. 1979.№8, 9, С.84-88.

7. **Пресман А.С**. Электромагнитная сигнализация в живой природе.-М.:Сов.радио, 1974. 64с.

8. **Бецкий О.В**. Механизмы биологических эффектов взаимодействия ММ волн с живыми организмами./ММ волны нетепловой интенсивности в медицине//Тр.Междунар.симп. М.3-6 окт. 1991. С.521-528.

9. **Фрёлих Г**. Когерентные возбуждения в биологических системах//Биофизика. 1977. Т.XXII,вып.4. С.743-744.

10. **Илларионов В.Е**. Основы лазерной терапии. -М.:"Респект". 1992. 121с.

11. **Взятышев В.Ф**. Диэлектрические волноводы.-М.: Сов.радио, 1971. С.218.

12. **Диденко Н.П., Горбунов В.В., Зеленцов В.И**. Изменение динамики белка под воздействием электромагнитных колебаний нетеплового уровня// Письма в ЖТФ, 1985. Т.II. №24. С.1515-1520.

13. **Чернавский Д.С., Хургин Ю.И.** Физические механизмы взаимодействия белковых молекул с КВЧ-излучением//ММ волны в медицине и биологии.-М.: ИРЭ АН СССР, 1989. С.227-235.

14. **Ивков В.Г., Берестовский Г.М.** Липидный слой биологических мембран.-М.: Наука. 1982.224 с.

15. **Миллер С.Е.** Теория связанных волн и ее применение к волноводам.-В кн.: Волноводные линии передачи с малыми потерями. пер. с англ.; ред. В.Б.Штейншлейгер.-М.: Иностр.лит., 1960. С. 139-199.

16. **Андреев Е.А., Белый М.У., Ситько С.П.** Проявление собственных характеристических частот организма человека// Докл. АН УССР. Сер.Е. 1984.№4. С.60-63.

17. **Вейсман И.Г. Худ Л.Е., Вуд У.Б.** Введение в иммунологию.-М.: Выс. шк., 1983. 160 с.

18. **Девятков Н.Д., Голант М.Б., Реброва Т.Б**. Различие в подходе к устранению обратимых и необратимых нарушений организма с помощью когерентного излучения ММ диапазона волн// ММ волны в медицине и биологии.-М.: ИРЭ АН СССР. 1989. С.106-114.

19. **Лазеры** в клинической медицине/ Под ред. С.Д.Плетнева.-М.: Медицина, 1981. 399 с.

20. **Лебедев И.В., Шнитников А.С.** Планарные и объемные резонаторы СВЧ.-М.:МЭИ, 1986.-46 с.

21. **Казначеев В.П., Михайлова Л.П.** Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей.-М.:Наука, 1985. 182.

22. **Дедик Ю.В.** Аппарат КВЧ-терапии "Явь-1"// Электронная промышленность. 1980. №2. С.53.

23. **Аппарат** ММ-терапии "Электроника КВЧ-111". О.И.Писанко, О.Б.Хатнюк, И.Н.Шляхтиченко и др.//ММ волны в медицине и биологии.-М.: ИРЭ РАН. 1994.С.57-61.

24. **Приборы** микроволновой резонансной терапии/ Р.С.Авакян, Г.Г Габриелян., А.М. Мадоссян и др.//Электронная промышленность. 1990. №12. С.30-31.

25. **Патент РФ** "Аппликатор для КВЧ-терпии". Авторы: Г.П Раевский., В.Ф Взятышев. № Гос. регистрации 5040838. Приоритет от 5.05.93. МКИ A61N 5/02, A61H 39/00.

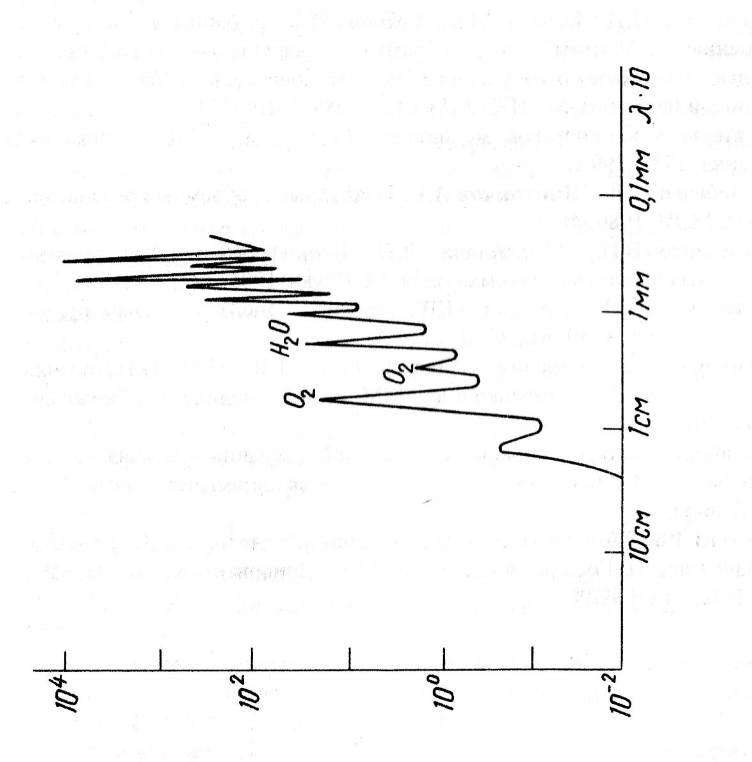


Рис.1.1. Поглощение электромагнитных волн в атмосфере Земли

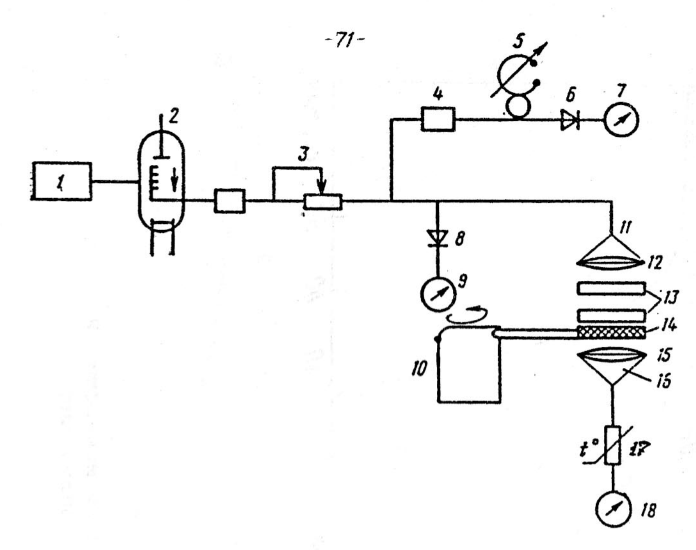


Рис.2.1. Схема КВЧ-установки для изучения воздействия электромагнитных волн на живые организмы.

1 — блок питания; 2 — генератор на ЛБВ; 3 — аттенюатор; 4 — измерительная линия; 5 — волномер; 6,8 — детекторная секция; 7,9 — милливольтметр; 10 — механизм вращения и перемешивания среды с микроорганизмами; 11,16 — рупорная антенна; 12,15 — корректирующая линза; 13 — согласующий трансформатор, 14 — исследуемый объект; 17 — термисторная головка; 18 — измеритель мощности

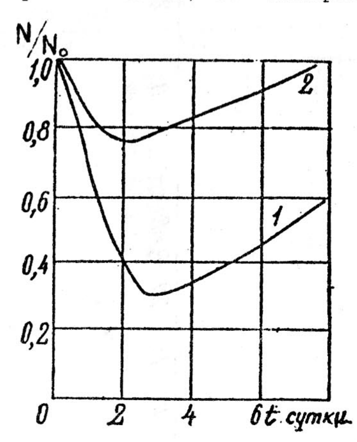


Рис.2.2. Временная зависимость изменения числа N клеток (относительно начального N_0) костного мозга при воздействии поражающего фактора (1); при предшествующем ему КВЧ-облучении (2)

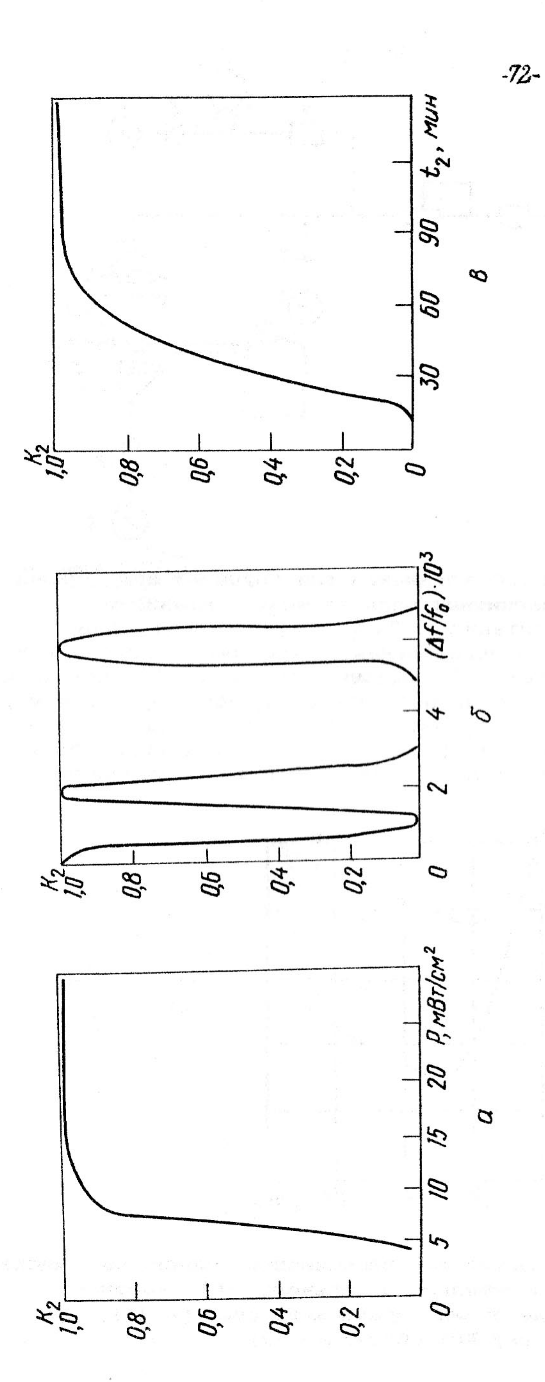


Рис.2.3. Зависимость биопараметра K от мощности P (а), частоты f (б) и времени t (в) КВЧ-облучения

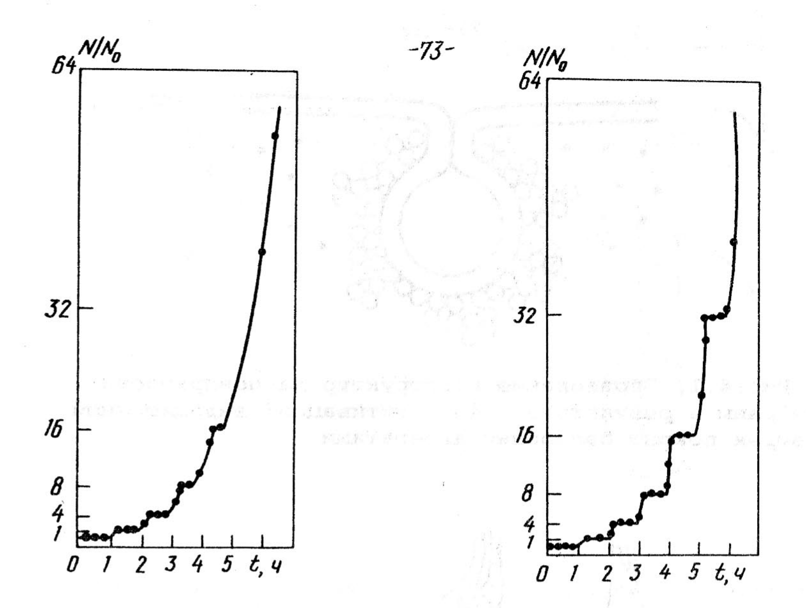


Рис.2.4. Временные зависимости роста числа N/N_0 дрожжевых клеток в процессе деления без (а) и при (б) воздействии КВЧ

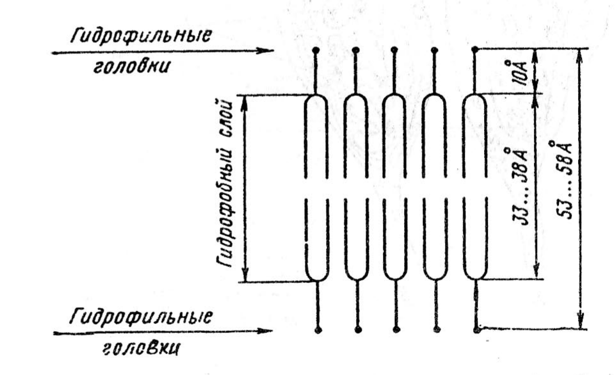


Рис. 3.1.Схематическое изображение структуры клеточной мембраны: размеры указаны для миелина

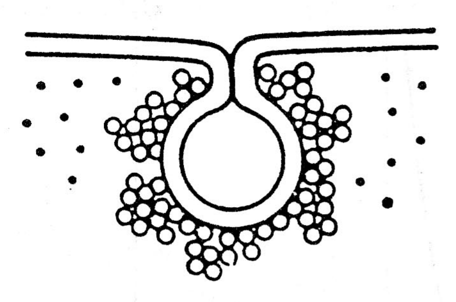


Рис.4.1. Образование подструктур на поверхности мембраны в результате ее активации: эндоцитозный пузырек покрыт белковыми агрегатами

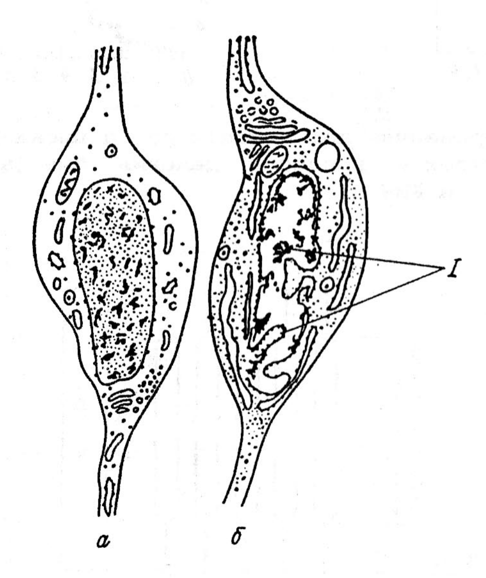


Рис.4.2. Возоникновение белковых подструктур на поверхности ядерных мембран ганглиозных элементов гидры:
а - нормальное состояние; б -после неблагоприятного воздействия; I - скопление белковых молекул у выступов мембраны

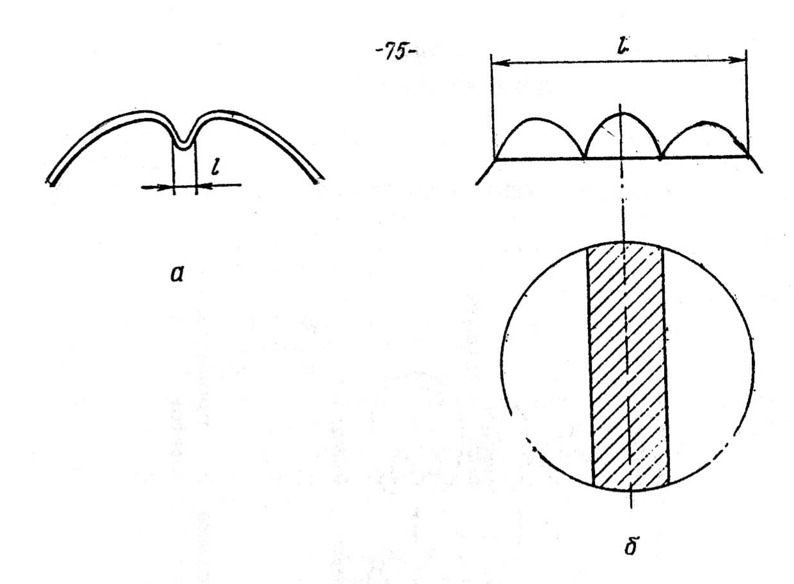


Рис.4.3. Схематическое изображение области деформации мембраны (а), распределение амплитуды поля стоячей волны на поверхности деформированного участка: заштрихована область, интенсивно бомбардируемая белковыми молекулами

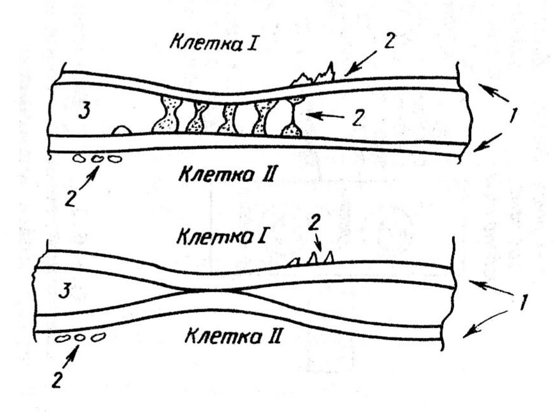


Рис.5.1. Морфология контактной области при сближении двух взаимодействующих клеток: 1- мембраны, 2-белковые выступы-септы, 3-межклеточная щель

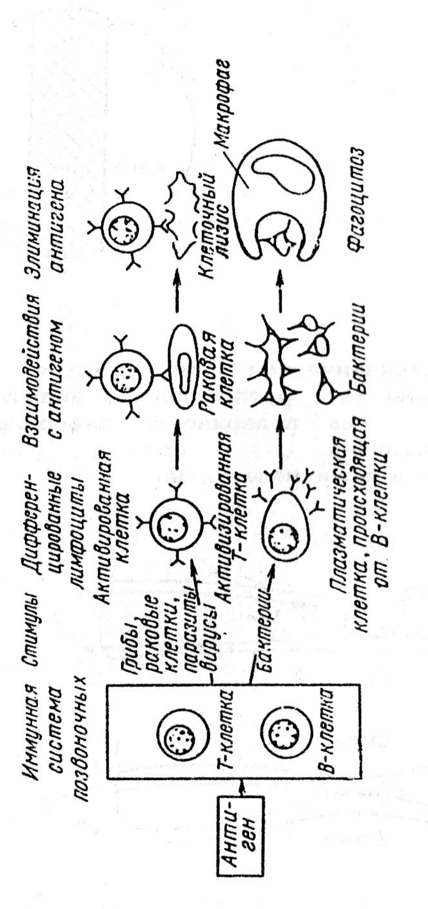


Рис.6.1. Биологическая схема процесса взаимодействия иммунокомпетентных клеток с чужеродными антигенами

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раевский Георгий Петрович

Редактор В.Ф. Взятышев

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Учебное пособие

по курсу

Микроволны в медицине

Редактор издательства Е.А.Улановская

ЛР № 020528 от 23.04.92

Темплан издания МЭИ 1996(П), учебн.

Подписано к печати 14.06.96 г.
Формат 60х84/16
Физ.печ.л. 5,0 Уч.-изд. 4,0
Тираж 100 Изд.№ 16 Заказ 138 Цена 4200 руб.

Издательство МЭИ, 111250, Москва, Красноказарменная,д. 14
Типография ЦНИИ "Электроника",115417, Москва, просп. Вернадского,д.39